

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELIANE SILVA CUSTÓDIO

**DESENVOLVIMENTO DE UM MICROMEDIDOR INTELIGENTE PARA
GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA EM REDES
ELÉTRICAS INTELIGENTES**

CURITIBA

2013

ELIANE SILVA CUSTÓDIO

**DESENVOLVIMENTO DE UM MICROMEDIDOR INTELIGENTE PARA
GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA EM REDES
ELÉTRICAS INTELIGENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração Sistemas de Energia, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Thelma S. P. Fernandes

CURITIBA

2013

*Ao Juliano de Mello Pedroso,
companheiro e amigo de uma vida.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Cilso e Juracy por todo amor, dedicação e educação.

Aos meus irmãos Marcos, Marcelo e Jaqueline, por apoiarem e participarem de todas as minhas realizações.

Ao meu companheiro Juliano pela ajuda, apoio, amor, dedicação e palavras de incentivo.

Ao orientador Professor Doutor Alexandre Rasi Aoki por sua valiosa orientação, dedicação, incentivo e por acreditar nesse trabalho.

À co-orientadora Professora Doutora Thelma Solange Piazza Fernandes por sua ajuda, paciência e apoio durante todo esse tempo.

Aos integrantes da banca por todas as contribuições e sugestões.

A todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação.

Aos Institutos Lactec por viabilizar e cooperar para a concretização deste projeto.

RESUMO

O gerenciamento pelo lado da demanda (DSM – *Demand-Side Management*) se caracteriza por um conjunto de medidas para controle da carga do usuário com o objetivo de operar o sistema elétrico de forma mais equilibrada. Este gerenciamento é discutido há mais de 20 anos, mas agora com o desenvolvimento das redes elétricas inteligentes (*smart grid*) que trabalha com sistemas integrados de medição, controle e supervisão inteligentes, pode ter sua atuação e implementação efetiva. Este trabalho tem como principal objetivo propor um micromedidor inteligente de energia para o gerenciamento pelo lado da demanda, utilizando os conceitos de redes elétricas inteligentes, de forma a minimizar o custo do consumo de energia. O sistema de gerenciamento pelo lado da demanda é constituído por micromedidores de energia (*smart plugs*) que coletam os dados de um determinado eletrodoméstico ou circuito elétrico em uma residência, geram um histórico desses dados e através de um algoritmo implementa os métodos de gerenciamento pelo lado da demanda, como corte de carga em horários de tarifa alta e corte de *stand-by*. Os micromedidores inteligentes de energia desenvolvidos neste trabalho atuam como medidores de energia, computando o consumo individualizado de cada carga a ele conectado, assim como, através do protocolo *ZigBee*, possibilita o corte da carga via comando remoto, via agendamento ou devido a sobrecarga, agindo assim como um elemento importante na implantação prática dos métodos de gerenciamento pelo lado da demanda. Finalmente são apresentados os dados coletados e as simulações realizadas com valores de tarifas convencional e branca. Os micromedidores inteligentes de energia foram testados em uma residência unifamiliar a fim de validar a aplicação dos micromedidores desenvolvidos para implementação do gerenciamento pelo lado da demanda visando as redes elétricas inteligentes. Como resultado final verificou-se uma economia para o consumidor, a conscientização do consumidor sobre a forma de utilização da energia e a geração de um histórico de consumo que pode ser usado para diversos estudos.

Palavras-chave: Redes elétricas inteligentes. Gerenciamento pelo lado da demanda. Micromedidores inteligentes de energia.

ABSTRACT

The demand side management (DSM) is characterized by a set of measures to control the user load in order to operate the electric system more evenly. This management is discussed for over 20 years, but now with the development of smart grid working with integrated systems for measurement, control and intelligent supervision, may have its operations and effective implementation. This paper aims to propose an intelligent smart plug for demand side management, using the concepts of smart grids, in order to minimize the cost of energy consumption. The management system on the demand side consists of smart plugs that collect data from a particular appliance or electrical circuit in a residence, a historic generate such data through an algorithm and implements the methods of side management demand, as load shedding schedules in high cutting rate and stand-by. Smart plugs developed in this work is the energy meters, computing the individual consumption of each load connected to it as well as by the ZigBee protocol, enables the cutting load by remote control via scheduling, or due to overload acting as an important element in the practical implementation of management methods on the demand side. Finally the collected data and the simulations with values of conventional and white rates are presented. Smart plugs were tested in a single family residence in order to validate the application of smart plugs developed for implementation of demand side management targeting smart grids. As final result there was a savings to the consumer, consumer awareness on how to use energy and generate a history of consumption that can be used for various studies.

Keywords: smart grids. Demand side management. Smart plugs.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESTRUTURA REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES.....	27
FIGURA 2 – REDE DE ENERGIA TRADICIONAL	29
FIGURA 3 – EXEMPLO DE MICRO REDE.....	30
FIGURA 4 – ARQUITETURA SG.....	33
FIGURA 5 – SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE RESIDÊNCIAIS.....	35
FIGURA 6 – ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO EM SC.....	37
FIGURA 7 – FORMAS DE MODIFICAR A CURVA DE CARGA DE UM CONSUMIDOR	40
FIGURA 8 – TARIFA BRANCA	46
FIGURA 9 – BLOCOS MICROMEDIDOR INTELIGENTE COM RECONHECIMENTO	48
FIGURA 10 – DIAGRAMA EM BLOCOS.....	49
FIGURA 11 – DIAGRAMA EM BLOCOS SMART PLUG.....	57
FIGURA 12 – CIRCUITO DE LEITURA DE CORRENTE.....	59
FIGURA 13 – CIRCUITO DE LEITURA DE TENSÃO.....	60
FIGURA 14 – MÓDULO ZIGBEE CC2531EMK	63
FIGURA 15 – FLUXOGRAMA GERAL DO MSP430.....	65
FIGURA 16 – FLUXOGRAMA DO FIRMWARE DE COMUNICAÇÃO.....	66
FIGURA 17 – FLUXOGRAMA DO COORDENADOR.....	67
FIGURA 18 – TELA PRINCIPAL DO SISTEMA DE INTERFACE DO USUÁRIO	68
FIGURA 19 – MONTAGEM DO MONITORAMENTO DE ENERGIA	70
FIGURA 20 – DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO DA RESIDÊNCIA.....	72
FIGURA 21 – ALGORITMO DE CONTROLE DO DSM.....	76
FIGURA 22 – FLUXOGRAMA DO CORTE DE <i>STAND-BY</i> POR LIMIAR.....	78
FIGURA 23 – CORTE DE <i>STAND-BY</i> POR HORÁRIO	79
FIGURA 24 – OTIMIZAÇÃO DO CORTE DE CARGA DEVIDO A TARIFA	81
FIGURA 25 – CONSUMO ACUMULADO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA NO MEDIDOR	85

FIGURA 26 – CONSUMO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA NA CARGA ESCRITÓRIO	86
FIGURA 27 – CONSUMO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA DA CARGA FREEZER	86
FIGURA 28 – CONSUMO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA DA CARGA SALA DE COMPUTADOR	87
FIGURA 29 – CONSUMO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA DA CARGA SALA DE ESTAR	87
FIGURA 30 – CONSUMO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA DA CARGA MICRO-ONDAS	88
FIGURA 31 – CONSUMO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA DA CARGA LAVA-ROUPAS	88
FIGURA 32 – PORCENTAGEM DE CONSUMO	89
FIGURA 33 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DO ESCRITÓRIO	90
FIGURA 34 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DO FREEZER	90
FIGURA 35 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DA SALA DE COMPUTADOR	91
FIGURA 36 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DA SALA DE ESTAR.....	92
FIGURA 37 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DO MICRO-ONDAS.....	92
FIGURA 38 – CURVA DE DEMANDA (kW) DA LAVA-ROUPAS	93
FIGURA 39 – MEDIDA DE DEMANDA MENSAL	94
FIGURA 40 – VALOR DA TARIFA BRANCA.....	95
FIGURA 41 – GRAFICO SP1 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR LIMIAR.....	96
FIGURA 42- GRAFICO SP3 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR LIMIAR.....	97
FIGURA 43- GRAFICO SP4 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR LIMIAR.....	97
FIGURA 44 – GRAFICO SP1 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR HORÁRIO FONTE: A autora (2012).....	99
FIGURA 45 – GRAFICO SP3 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR HORÁRIO	99
FIGURA 46– GRAFICO SP4 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR HORÁRIO	100

FIGURA 47 – HORÁRIO DURANTE A SEMANA EM QUE O MICROMEDIDOR SP1
FOI DESLIGADO

10

1

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –MICROMEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGIA DISPONÍVEIS NO MERCADO.....	53
TABELA 2 – CARGAS MONITORADAS	72
TABELA 3 – CARGAS AVALIADAS NA PPH	85
TABELA 4 – PERCENTUAL DE PARTICIPAÇÃO DO CONSUMO INDIVIDUAL DAS CARGAS MONITORADOS SOBRE A CARGA TOTAL	89
TABELA 5 – TARIFAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE	94
TABELA 6 – TABELA COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA.....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	–	Analógico-Digital
AC	–	Corrente Alternada
AMI	–	<i>Automatic Metering Infrastructure</i>
AMR	–	<i>Automated Meter Reading</i>
ANATEL	–	Agencia nacional de telecomunicações
ANEEL	–	Agência Nacional de Energia Elétrica
DC	–	Corrente Contínua
DER	–	<i>Distributed Energy Resources</i>
DMA	–	<i>Direct memory access</i>
D/A	–	Digital-Analógico
DSM	–	<i>Demand Side Management</i>
FP	–	Fator de potência
GD	–	Geração distribuída
HAN	–	<i>Human Lan Network</i>
IDE	–	<i>Integrated Development Environment</i>
JTAG	–	<i>Join Test Action Group</i>
LAN	–	<i>Local Area Network</i>
LCD	–	<i>Liquid Crystal Display</i>
MATLAB	–	Programa para manipulação de matrizes e computação numérica
OSI	–	<i>Open System Interconnection</i>
PEE	–	Programa de Eficiência Energética
PLC	–	<i>Powerline Communication</i>
PROCEL	–	Programa Nacional de Conservação de energia Elétrica
PWM	–	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RAM	–	<i>Random Access Memory</i>
RISC	–	<i>Reduced Instruction Set Computing</i>
SEP	–	Sistema Elétrico de Potência
SG	–	<i>Smart Grid</i>

SHC	–	<i>Smart Home Control</i>
SM	–	<i>Smart plugs</i>
SPI	–	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SQL	–	<i>Structured Query Language</i>
TRIAC	–	<i>Triode for Alternating Current</i>
UART	–	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	–	<i>Universal Serial Bus</i>
VPP	–	<i>Virtual Power Plant</i>
WAN	–	<i>Wide Area Network</i>
Wi-Fi	–	Protocolo de comunicação sem fio baseado no IEEE 802.11
WS	–	<i>Wireless Sensor Networks</i>
Zigbee	–	Protocolo de comunicação sem fio baseado no IEEE 802.15.4
ZNP	–	<i>ZigBee Network Protocol</i>

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTO.....	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
1.3	JUSTIFICATIVA.....	15
1.4	ESTADO DA ARTE	16
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
2	CAPÍTULO 2: REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES.....	22
2.1	INTRODUÇÃO	22
2.2	CARACTERÍSTICAS	23
2.2.1	Autorrecuperação do sistema.....	23
2.2.2	Motivar os consumidores a participar ativamente nas operações da rede	23
2.2.3	Maior segurança na rede	24
2.2.4	Fornecer energia com alto índice de qualidade com menor preço	24
2.2.5	Gerenciar todas as formas de geração e opções de armazenamento	25
2.2.6	Abertura de mercados competitivos de energia	26
2.2.7	Otimização de operação	26
2.3	ESTRUTURA DA REDE ELÉTRICA INTELIGENTE	26
2.3.1	Subsistema de energia	28
2.3.2	Subsistema de informação	33
2.3.3	Sistema inteligente de medição e controle residencial	35
2.3.4	Monitoramento inteligente e medição	36
2.3.5	Subsistema de comunicação inteligente	36
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	38
3	CAPÍTULO 3: GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA E MICROMEDIDOR INTELIGENTE DE ENERGIA	39
3.1	INTRODUÇÃO	39
3.2	OBJETIVOS DE UM PROGRAMA DE GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA	40
3.3	ALTERNATIVAS DE PROGRAMAS DE GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA	42
3.4	OPÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROGRAMAS DE DSM.....	43
3.5	TARIFA BRANCA.....	45
3.6	MICROMEDIDOR INTELIGENTE DE ENERGIA.....	47
3.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	50
4	CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODO	51
4.1	TECNOLOGIA DE MICROMEDIDOR INTELIGENTE	52
4.2	PROJETO DO MICROMEDIDOR INTELIGENTE	56
4.3	REDE DE COMUNICAÇÃO ZIGBEE.....	62
4.3.1	Pilha ZigBee	62

4.3.2	Módulo <i>ZigBee</i> /USB.....	63
4.4	FIRMWARE E SOFTWARE.....	63
4.4.1	Principais fluxogramas do firmware.....	64
4.5	ESTRATÉGIA DE MONITORAMENTO E LEVANTAMENTO DE PERFIL DE CARGA	69
4.5.1	Pesquisa de posses e hábitos.....	69
4.5.2	Esquema de monitoramento.....	70
4.6	DESENVOLVIMENTO DA OTIMIZAÇÃO DE DSM.....	75
4.6.1	Consumo de <i>stand-by</i>	76
4.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	82
5	CAPÍTULO 5: SIMULAÇÕES E RESULTADOS.....	83
5.1	ANÁLISE DA PESQUISA DE POSSES E HÁBITOS	83
5.2	MONITORAMENTO E LEVANTAMENTO DE CURVA DE CARGA.....	84
5.3	OTIMIZAÇÃO POR GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA	94
5.3.1	Corte automático de <i>stand-by</i> por limiar	96
5.3.2	Corte automático de <i>stand-by</i> por horário	98
5.3.3	Otimização do corte de carga devido à tarifa	101
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	102
6	CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	104
6.1	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	105
	REFERÊNCIAS	106
	ANEXOS	109

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

O processo de geração, distribuição e medição de energia elétrica estão sofrendo mudanças com o surgimento de novas tecnologias. A forma de consumo e distribuição de energia agora pode ser gerenciada efetivamente, proporcionando melhoria tanto do lado da concessionária quanto do lado da demanda.

Nos últimos anos, o uso de novos recursos diversos integrados aos sistemas elétricos, como geração distribuída, resposta à demanda e, mais recentemente, veículos elétricos, aumentou significativamente. Uma das premissas de operação de sistemas elétricos é pautada na redução dos custos operacionais, exigindo uma adequada gestão dos recursos energéticos e do sistema elétrico. Neste contexto, a gestão da carga do consumidor desempenha um papel importante, sendo necessária a utilização de estratégias de otimização para ajustar este consumo para um perfil de curva de carga com um fator de carga maior.

A operação em tempo real do sistema elétrico brasileiro atual é realizada através do controle da geração de energia conforme demanda, sem considerar a possibilidade de se controlar o consumo. Em particular, no segmento residencial, o preço da eletricidade ainda não é diferenciado nos diversos postos horários, portanto isso proporciona pouco incentivo para os consumidores controlarem o uso da energia.

Com a tecnologia de redes elétricas inteligentes (do inglês, *smart grid*) esse cenário tende a se modificar. Novos equipamentos serão instalados como: medidores inteligentes de energia (do inglês, *smart meter*) e micromedidores inteligentes de energia (do inglês, *smart plug*). Isso ajudará o consumidor a controlar suas cargas, diminuindo assim seus custos e contribuindo para uma operação melhor do sistema elétrico. No entanto, é impraticável solicitar a um consumidor comum a execução de um controle de carga ótimo sem o fornecimento de uma plataforma de equipamentos (medidores inteligentes de energia e micromedidores inteligentes de energia) adequada e um extensivo treinamento sobre os conceitos técnicos envolvidos na operação de instalações elétricas. Portanto, é importante

desenvolver um método de controle automático do consumo de cargas residenciais que venha a requerer pouca atenção e interação com o consumidor.

Neste caso, ou seja, quando o consumidor final consegue controlar a sua demanda, ganha o consumidor que diminui custos com a energia, ganha o setor elétrico que consegue reverter suas economias em melhorias da sua infraestrutura e ganha o meio ambiente com a economia de recursos hídricos ou outra forma de insumo gasto com a geração de energia.

Muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas para tornar a forma de distribuição e consumo mais inteligente, como por exemplo Falcão (2010). A intenção é tornar todo o sistema integrado e transparente tanto para o consumidor como para a concessionária.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo para gerenciamento pelo lado da demanda (do inglês, *demand-side management* - *DSM*), utilizando os conceitos de redes elétricas inteligentes. O modelo é constituído por micromedidores inteligentes de energia que coletam os dados em um determinado eletrodoméstico ou circuito em uma residência, gera um histórico desses dados e através de um algoritmo minimiza o custo do consumo final da residência.

1.2.2 Objetivos específicos

Para se alcançar o objetivo geral deste trabalho, alguns objetivos específicos devem ser executados:

- Analisar as técnicas e estratégias de implantação de gerenciamento pelo lado da demanda existentes nos mercados de energia elétrica dos países desenvolvidos;

- Analisar o estado da arte dos modelos de concepção de redes elétricas inteligentes integrando o gerenciamento pelo lado da demanda;
- Avaliar os micromedidores inteligentes de energia disponíveis no mercado;
- Coletar dados de diferentes tipos de eletrodomésticos ou circuitos isolados em uma residência;
- Desenvolver um micromedidor inteligente de energia;
- Desenvolver um algoritmo de gerenciamento pelo lado da demanda a ser embarcado no micromedidor inteligente de energia;
- Validar o sistema proposto através de simulações e experimentação em campo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Muitos países, inclusive o Brasil, adotaram políticas para a otimização e automação do sistema elétrico. Dessa forma, surgiu o conceito de redes elétricas inteligentes. Uma das características de redes elétricas inteligentes é a capacidade de dar poder ao consumidor final de gerenciar sua demanda. No país, apenas clientes corporativos ou instituições de grande porte, usufruem desse benefício baseados em tarifas diferenciadas e infraestrutura de medição eletrônica.

O micromedidor inteligente de energia é um medidor de energia que pode ser instalado diretamente em um eletrodoméstico (máquina de lavar, de secar, de lavar louças, entre outros) ou em um circuito isolado de baixa tensão. Assim, é possível monitorar o consumo desse equipamento ou circuito e disponibilizar para o usuário final, ou para um programa de controle de demanda, um histórico de consumo através do qual se possa determinar automaticamente sua melhor operação e estratégias para a sua utilização de acordo com a tarifa vigente.

Com essa tecnologia o consumidor pode ter um uso mais eficiente da energia, reduzindo custos e contribuindo para um funcionamento melhor do sistema elétrico. No entanto, é impraticável que um consumidor, que não tenha conhecimento técnico suficiente, consiga operar sua carga de forma otimizada com várias possibilidades de utilização para os seus eletrodomésticos.

Portanto, é desejável que haja um método de controle automático que determine qual o melhor momento para se ligar um eletrodoméstico, levando em consideração o custo de energia e o conforto do usuário, determinado através de um histórico do consumo e da tarifa vigente.

Assim como em outras partes do mundo, há uma tendência que as tarifas praticadas pelas concessionárias no Brasil sejam diferenciadas de acordo com o posto horário para o consumidor residencial. Deste modo, a aplicação de uma tarifa diferenciada a uma residência cujo comportamento dos principais eletrodomésticos é conhecido pode remeter a economia do usuário e da concessionária.

Diante deste desafio, esta dissertação contou com o apoio de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) executado pela Light SESA em parceria com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), o qual previa o desenvolvimento de um modelo de arquitetura de redes elétricas inteligentes, incluindo dispositivos padrão (medidores e micromedidores inteligentes de energia), certificação digital e aplicações de interoperabilidade para sistemas de medição inteligente.

Os desenvolvimentos dos dispositivos eletrônicos previstos no projeto de P&D ficaram sob responsabilidade da Divisão de Sistemas Eletrônicos do LACTEC, aportando experiência, tecnologia e práticas de desenvolvimento adquiridos ao longo de anos de prestação de serviços ao Setor Elétrico Brasileiro. Destaca-se que a autora desta dissertação trabalha nesta equipe e foi responsável pelo desenvolvimento específico do micromedidor inteligente de energia, objeto maior do presente trabalho.

1.4 ESTADO DA ARTE

O consumo de energia residencial representa uma grande fatia da demanda total nacional. A gestão deste setor é uma prioridade para minimizar o aquecimento global, contribuir com a conservação de recursos naturais e melhorar a qualidade do sistema elétrico como um todo. Muita energia é desperdiçada no uso diário residencial, sendo que, dois simples exemplos descrevem de forma clara esse problema: aquecimento/resfriamento de ambientes sem controle inteligente e iluminação de áreas desocupadas.

Em Williams *et al.* (2006) foi desenvolvido um projeto piloto nos Estados Unidos da América onde o pico de consumo de energia foi deslocado para horários de menor demanda. Isso foi conseguido com a instalação de um medidor de energia digital, relés e alguns termostatos em uma residência. Um *software* de controle foi instalado em um computador pessoal para controlar o ar condicionado da residência.

Conforme Luan *et al.* (2009) o conceito de redes elétricas inteligentes, o qual contribui para melhor utilização da rede elétrica, redução da demanda e uso extensivo de fontes de energia renovável, é aceito e implementado em todo o mundo. A instalação de infraestrutura de medição avançada (AMI) em residências é encarada como uma ponte para a construção de redes elétricas inteligentes. O principal componente dessa infraestrutura é o medidor inteligente de energia, que foi implementado com comunicação *ZigBee*. O sistema proposto utilizou um computador com *software* de configuração e armazenamento com um adaptador *ZigBee coordinator* que configura os medidores inteligentes. O medidor inteligente de energia foi composto por um microcontrolador da empresa Microchip série DSPIC30F que foi usado para medições e cálculos e um módulo de comunicação *ZigBee device*. Esse medidor inteligente de energia tem várias funções: medições de grandezas elétricas em tempo real, cálculo de energia e transmissão de dados para um sistema de coordenação.

A maioria dos programas de gestão pelo lado da demanda existente se concentra principalmente nas interações entre concessionária de distribuição de energia e seus consumidores. Por exemplo, Wong *et al.* (2010) apresentaram um sistema de controle pelo lado da demanda que se aproveita de uma infraestrutura futura da rede elétrica inteligente. Nele é usada a teoria dos jogos para agendamento de consumo: os jogadores foram os consumidores e suas estratégias foram os horários diários de consumo de sua residência. Supõe-se que a companhia de serviço público adotou tarifas diferenciadas durante todo o dia.

E ainda, Wong *et al.* (2010) propuseram um incentivo baseado em esquema de escalonamento de consumo de energia. O cenário considerado foi uma fonte de energia (por exemplo, um gerador ou um transformador que está ligado à rede) compartilhada por vários clientes equipados com um escalonador de energia. A funcionalidade do escalonador foi implantada no interior dos medidores inteligentes ligados, não só na alimentação da linha, mas também em uma rede de

comunicação. Os medidores inteligentes com função escalonador interagiram automaticamente executando um algoritmo distribuído para encontrar o cronograma ideal de consumo de energia para cada usuário. Um mecanismo de preços simples forneceu aos usuários incentivos para cooperar. O desempenho global do sistema foi melhorado e cada usuário pagou menos pela energia. Em outras palavras, através de um regime de preços adequados, o equilíbrio de Nash do consumo de energia entre os usuários participantes que compartilharam a mesma fonte de energia alcançou uma solução ótima para o problema de otimização do sistema.

Conejo *et al.* (2010) descreveu um modelo de otimização para ajustar o nível de carga horária de um determinado consumidor em resposta ao preço da eletricidade naquela hora. O objetivo do modelo foi minimizar o custo da conta do consumidor. O problema se resumiu em um algoritmo de programação linear simples que pode ser implementado em um sistema maior de controle pelo lado da demanda. A comunicação bidirecional entre o consumidor e o fornecedor foi um fator importante para o desenvolvimento do trabalho.

Os principais passos do funcionamento do sistema proposto por Conejo *et al.* (2010) foram:

- 1) O consumidor considerado tem um sistema que permite a comunicação bidirecional com o fornecedor de energia de hora em hora.
- 2) O sistema de comunicação recebe cada preço antes da hora correspondente (por exemplo, 10 min antes).
- 3) A central de controle tem uma rotina de previsão de preço que oferece estimativa de preços para as outras horas do dia. Essa estimativa pode ser passada diretamente pelo fornecedor de energia.
- 4) Com esses dados o modelo de otimização de Conejo *et al.* (2010) conseguiu determinar o consumo ótimo da residência para aquela hora. Então esse valor foi enviado para o fornecedor de energia antes da hora correspondente (por exemplo, 5 min antes).

No artigo de Zhao *et al.* (2011a) foi discutido como pode ser montado uma rede elétrica inteligente dentro de uma residência e trabalhar com a realidade da China. Nesse artigo, é mostrado um sistema de energia residencial composto por: medidores inteligentes de energia, micromedidores inteligentes de energia, terminais inteligentes, placas fotovoltaicas, controladores e outros dispositivos. Foi apresentada uma ideia geral do que seriam esses dispositivos e suas funções e

introduzido o conceito da tecnologia *ZigBee* e de “*ZigBee smart energy profile*”. No final, foram levantados alguns problemas possíveis dessa interação na China, tais como: a padronização de protocolos de comunicação e problemas econômicos de instalação.

Choi *et al.* (2011) usaram uma arquitetura de *hardware* e *software* de um controlador inteligente para utilização na rede elétrica inteligente para reduzir o consumo de energia. O controlador inteligente pode ser instalado na tomada elétrica de qualquer eletrodoméstico, captando a quantidade de energia utilizada no aparelho elétrico e disponibilizando para o controlador central. Foi feito um projeto piloto para testar suas principais funções, os testes de validação do sistema foram realizados em laboratório com lâmpadas. A simulação considerou valores diferenciados de tarifas durante o dia e foi controlando a carga luminosa de acordo com esses valores. No final, verificou-se uma economia de até 33% em relação a um sistema sem o controlador. O sistema foi montado com um microcomputador, três controladores inteligentes e três lâmpadas. A forma de comunicação utilizada foi o *ZigBee*.

Já um trabalho que pretendia gerir o consumo de uma residência foi o de Fernandes *et al.* (2011) que apresentou uma abordagem utilizando algoritmos genéticos e fazendo uso de um sistema SCADA (*Supervisory, Control and Data Acquisition*) desenvolvido pelos autores. A gestão do consumo foi feita reduzindo ou limitando cargas para manter o consumo de energia abaixo de um limite especificado. Este limite foi determinado de acordo com a estratégia do consumidor e levou em conta a geração baseada em fontes renováveis de energia, preços, solicitações de fornecedores e consumidores.

A otimização da gestão de carga, de acordo com Fernandes *et al.* (2011) pode resultar em um grande problema combinatorial e complexo devido à diversidade de cargas utilizadas em uma casa típica. Em um ambiente de casa há dois tipos de carga: as cargas variáveis (luz dimerizada, aquecimento, etc.) e cargas discretas (tipo *on/off*). Para assegurar uma gestão da carga em tempo real, o sistema de controle precisa adotar técnicas de otimização adequadas. Técnicas de inteligência artificial podem ser usadas para resolver problemas combinatoriais quando as técnicas de otimização clássicas requerem tempos mais longos do que o aceitável.

Barbato *et al.* (2011) propuseram um sistema para prever o uso de eletrodomésticos, a fim de fornecer automaticamente as entradas de um mecanismo de gerenciamento de energia elétrica, exatamente da mesma maneira que um usuário poderia fazer. A arquitetura foi composta por sensores de medição acoplados aos eletrodomésticos e por uma central de armazenamento. Os dados fornecidos pelos sensores foram processados a cada 24 horas para prever quais os dispositivos serão utilizados no dia seguinte, em que momento do dia e durante quanto tempo. Esta informação representou apenas os parâmetros de entrada exigidos pelos sistemas de gestão da carga, evitando assim complexas configurações manuais pelo usuário.

Com base nessas previsões algumas definições dos mecanismos de gestão de demanda puderam ser feitas automaticamente, melhorando a usabilidade desses tipos de mecanismo e facilitando a sua proliferação em uma rede elétrica inteligente.

Di Giorgio *et al.* (2011) propuseram uma estratégia de controle que proporcionou uma gestão eficiente da energia elétrica em um ambiente doméstico. O problema foi contextualizado como do tipo programação linear binária, onde a saída é o melhor momento para ligar os eletrodomésticos inteligentes, sob uma restrição de potência máxima de consumo. Essa potência máxima leva em conta a potência contratada e a previsão de consumo de cargas não planejáveis.

A formulação proposta por Di Giorgio *et al.* (2011) permitiu analisar cenários relevantes do consumidor varejista: o primeiro cenário leva em consideração a otimização de economia de energia em caso de diferentes tarifas contratadas e o segundo cenário leva em consideração um plano de gestão pelo lado da demanda. As simulações foram realizadas em casos com base em perfis de carga reais fornecidos pela empresa de eletrodomésticos inteligentes Electrolux e em tarifas de energia sugeridos pela empresa de energia varejista Edison.

Os resultados apresentados por Di Giorgio *et al.* (2011) forneceram uma prova do conceito relacionado aos benefícios do uso de um sistema de controle de energia e de um plano de gestão pelo lado da demanda, tanto para economia do consumidor quanto para o funcionamento eficaz do sistema de distribuição de energia. Entre outras coisas, a tecnologia de rede elétrica inteligente permitiu a comunicação bidirecional entre um fornecedor de energia e diferentes tipos de consumidores. O acordo contratual entre o consumidor e o fornecedor permitiu ao consumidor receber o preço de energia por hora vários minutos antes da hora

correspondente e responder a esta informação, ajustando seu consumo para àquela hora. O ajuste dessa energia horária foi feita num quadro de planejamento diário para que um consumo mínimo de energia diária seja garantido. Restrições de consumo, tais como carga horária e variação de carga limites, também foram aplicadas.

Segundo Du e Lu (2012), os eletrodomésticos podem ser classificados em três grupos: controláveis termicamente, controláveis e não controláveis. Os controláveis podem ser máquinas de lavar roupas, secar e lava louças. Não controláveis seriam, por exemplo, uma geladeira que deve ser mantida ligada o dia todo.

Du e Lu (2012) propuseram um algoritmo de controle para os equipamentos térmicos. Para tanto, foi usado como estudo de caso um aquecedor de água. Foi gerada uma função de minimização de custos e maximização do conforto. O algoritmo apresentou uma forma de agendamento de carga ideal, modelando o processo termodinâmico do aparelho e considerando a configuração conforto para o usuário como uma restrição. A solução atingiu um equilíbrio ideal entre custo de energia e nível de conforto do usuário.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura desta dissertação está dividida em seis capítulos, sendo o primeiro, o capítulo introdutório. No segundo capítulo é apresentada uma fundamentação teórica sobre rede elétrica inteligente e no terceiro capítulo sobre gerenciamento pelo lado da demanda, tarifa branca e micromedidores inteligentes de energia. No quarto capítulo estão descritos os materiais utilizados para a obtenção dos dados utilizados e os métodos desenvolvidos para determinação do algoritmo de minimização dos custos de consumo de energia do usuário.

No quinto capítulo é realizada a análise dos resultados obtidos a partir do algoritmo desenvolvido e do experimento de campo. No capítulo seis são apresentadas as conclusões e proposições para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2: REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

2.1 INTRODUÇÃO

Na maior parte dos países, a construção dos sistemas elétricos de distribuição e geração foi realizada em uma época quando a energia era considerada barata. A confiabilidade do sistema elétrico era baseada no excesso de capacidade de geração elétrica, com o fluxo de eletricidade unidirecional das usinas para os consumidores. Os investimentos no sistema elétrico foram feitos para atender à crescente demanda e não para mudar a lógica atual.

Embora a inovação tecnológica tenha transformado outros setores industriais, o sistema elétrico continua a funcionar da mesma forma há décadas. A falta de investimento, combinado com uma vida útil dos equipamentos de 40 anos ou mais, resultou em um sistema elétrico atualmente ineficiente, insuficiente e cada vez mais instável. As alterações climáticas, o aumento do preço dos combustíveis, infraestrutura de rede desatualizada e novas tecnologias de geração de energia mudaram a mentalidade de todas as partes interessadas.

Espera-se que fontes de energia renováveis e geração distribuída desempenhem um papel significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa, que o gerenciamento pelo lado da demanda melhore a eficiência energética e reduza o consumo total de eletricidade. Para tanto, o monitoramento em tempo real da rede deve melhorar a confiabilidade do sistema, reduzir apagões e aumentar o retorno financeiro sobre os investimentos na rede. Essas mudanças na demanda e oferta exigem um sistema inteligente para gerenciar de forma eficiente essa rede cada vez mais complexa (HASHIMI, 2011).

Tendo em conta os desafios mencionados anteriormente, surgiu o conceito de rede elétrica inteligente (do inglês, **Smart Grid** - SG). Rede elétrica inteligente deve ser entendida mais como um conceito do que uma tecnologia ou equipamento específico. Ela carrega a ideia da utilização intensiva de tecnologia de informação e comunicação integrada as funcionalidades da rede elétrica, através da possibilidade de comunicação do estado dos diversos componentes da rede, o que permite a

implantação de estratégias de controle e otimização da rede de forma muito mais eficiente que as atualmente em uso (FALCÃO, 2010).

Este capítulo aborda conceitos importantes sobre redes elétricas inteligentes, sua estrutura e organização. Assim, considera temas como as principais características de uma rede elétrica inteligente e como esse conceito é aplicado ao sistema de distribuição de energia elétrica.

2.2 CARACTERÍSTICAS

Um sistema de rede elétrica inteligente deve ser mais confiável, mais interligado, mais controlável e melhor protegido do que as redes convencionais. Algumas características podem descrever esse conceito, conforme Wei *et al.* (2009).

2.2.1 Autorrecuperação do sistema

Usando informações em tempo real, uma rede elétrica inteligente pode automaticamente evitar ou diminuir falhas de energia, problemas de qualidade de energia e interrupções de serviço. Essas informações podem ser conseguidas a partir de sensores remotos e controles automatizados para antecipar, detectar e responder a problemas no sistema.

2.2.2 Motivar os consumidores a participar ativamente nas operações da rede

Uma rede elétrica inteligente deve permitir aos consumidores uma melhor gestão da utilização ou consumo da energia elétrica, permitindo assim a redução dos gastos com o consumo de energia elétrica. Esta característica utiliza o conceito de “preço em tempo real”, com o preço da energia elétrica sendo exibido dentro da unidade consumidora através de *display* integrado ao medidor eletrônico. Isso permiti aos consumidores optarem por controlar diretamente certos eletrodomésticos como condicionadores de ar, bombas de piscinas, aquecedores

elétricos e chuveiros elétricos, durante períodos de demanda crítica (horário de pico) em troca de algum tipo de redução da tarifa de consumo ou descontos, além da possibilidade de ganhos com a venda do excedente de energia elétrica para a rede de distribuição (OLIVEIRA, 2012).

2.2.3 Maior segurança na rede

Com novas tecnologias o sistema pode identificar e responder a interrupções feitas pelo homem ou naturais. Informações recebidas em tempo real permitem que os operadores da rede possam isolar áreas atingidas e redirecionar os fluxos de energia em torno de instalações danificadas.

Outro fator importante é a diminuição das perdas de energia elétrica no geral. Essas podem ser divididas em dois tipos: perdas técnicas e perdas comerciais. O primeiro tipo é produzido pelo aquecimento das linhas e demais equipamentos (efeito Joule). Já o segundo tipo são de outra natureza, sendo divididas em perdas por fraude e por furto. A fraude ocorre quando o consumidor altera de várias formas possíveis o seu medidor para que seu custo final seja menor. O furto ocorre quando a energia é consumida por ligações clandestinas sem passar por medidor algum (PENIN, 2008).

Em 2005, segundo Penin (2008), as perdas de energia no Brasil foram da ordem de 15% da energia total requerida, sendo 32% desse montante correspondente à perda não técnica. Com um sistema inteligente de distribuição e transmissão as perdas técnicas podem ter seus valores diminuídos e as perdas comerciais tendem a desaparecer.

2.2.4 Fornecer energia com alto índice de qualidade com menor preço

O índice de qualidade da distribuição de energia leva em consideração as variações de tensão de curta duração e as interrupções de fornecimento de energia, em uma determinada área. As variações de tensão de curta duração são causadas

tipicamente por alguma sobrecarga momentânea e as interrupções podem ocorrer quando a linha precisa de manutenção (MEHL,1996).

Com um sistema inteligente e interligado, a concessionária pode agir de forma mais rápida e eficiente para sanar esses tipos de falhas. Por exemplo, em uma sobrecarga a rede pode efetuar a solicitação de diminuição da carga para vários integrantes do alimentador de distribuição, essa solicitação pode ser atendida ou não, dependendo das características de cada consumidor. Assim pode ser conseguido um equilíbrio melhor no balanço energético do alimentador em questão levando-se em consideração a sensibilidade das cargas envolvidas e um alto índice de qualidade por um custo razoável.

2.2.5 Gerenciar todas as formas de geração e opções de armazenamento

As redes elétricas inteligentes precisam suportar todas as formas de geração de energia, tanto as tradicionais como as usinas hidrelétricas e térmicas, quanto às formas mais atuais como: células a combustível, painéis fotovoltaicas, pequenas turbinas eólicas, micro turbinas e outras tecnologias de geração distribuída em nível local e regional.

A ideia de um sistema totalmente interligado onde qualquer tipo de geração possa ser conectada vai permitir que clientes residenciais, comerciais e industriais que tenham alguma forma de auto geração possam vender energia excedente para a rede com o mínimo de barreiras técnicas ou regulamentares. Isso também pode melhorar a confiabilidade e qualidade de energia, reduzir os custos de eletricidade e oferecer mais escolhas para o cliente.

O veículo elétrico é outro componente interessante que deve ser integrado na operação da rede elétrica inteligente. Para tal, devem ser criados incentivos para focar o carregamento durante o período noturno (carga leve). Idealmente, estes veículos devem ser recarregados durante períodos de menor carga e com tarifas mais vantajosas, ajudando na absorção do excesso de geração em períodos de carga leve. Neste caso, vão funcionar como sistema de armazenamento. O veículo

também pode fornecer energia em horários de pico, assim funcionará como um sistema de geração auxiliar (SILVA, 2011).

2.2.6 Abertura de mercados competitivos de energia

A rede elétrica inteligente beneficia o mercado de energia varejista e de microgeração tornando o setor mais competitivo. Isso ocorre porque o sistema permite aos operadores de redes controlarem a carga conectada, assim como seus microgeradores, obtendo dessa forma um aproveitamento ótimo da rede elétrica. Dessa forma essa tecnologia fomenta a criação de novas empresas e o aumento da pesquisa de novas técnicas para atender a demanda de energia no Brasil. Toma-se como exemplo o crescimento de empresas que atuam na área de mini hidráulicas, biogás, eólicas, fotovoltaicas, entre outras que tem surgido para atender a demanda crescente em áreas isoladas.

2.2.7 Otimização de operação

Uma rede elétrica inteligente pode otimizar a utilização dos ativos, minimizando operações e custos de manutenção. Com a otimização do fluxo de energia há uma redução do desperdício assim o sistema irá balancear a distribuição local aproveitando os recursos existentes, a transmissão de energia entre longas distâncias será menor, reduzindo o congestionamento da rede e pontos de estrangulamento, gerando economia tanto para fornecedores como para consumidores.

2.3 ESTRUTURA DA REDE ELÉTRICA INTELIGENTE

Para entender melhor o que seria rede elétrica inteligente pode-se verificar um modelo conceitual referenciado em *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2009), o qual pode ser utilizado como uma referência para as várias partes do sistema elétrico onde a rede elétrica inteligente deve ser

desenvolvida. Este modelo provê um sistema com definição de sete domínios: geração, transmissão, distribuição, consumidores, operações, mercados e provedores de serviço, onde cada um deles pode ser dividido em subdomínios. Domínios e subdomínios incluem “atores” (dispositivos e *softwares* que trocam mensagens) e “aplicações” (ex.: gerenciamento de energia). Este sistema pode ser visualizado na FIGURA 1, que destaca “fluxos de informação” e “fluxos de energia elétrica” entre domínios.

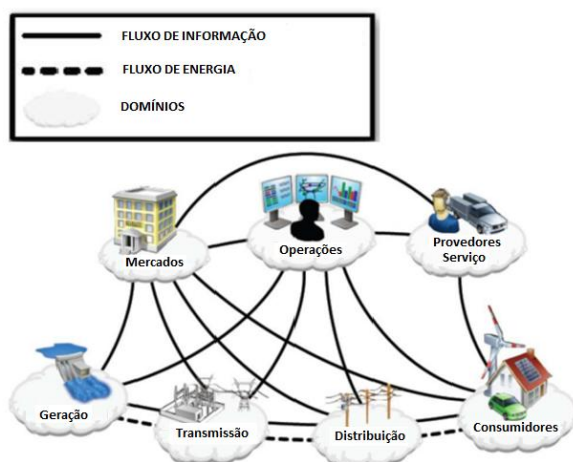


FIGURA 1 – ESTRUTURA REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES
 FONTE: Adaptado de *National Institute of Standards and Technology* (2009)

De um ponto de vista técnico, Fang *et al.* (2012) afirmam que a rede elétrica inteligente pode ser dividida em três sistemas principais: infraestrutura inteligente, sendo o foco dessa pesquisa, gestão inteligente e proteção inteligente.

- 1) Sistema de infraestrutura inteligente: O sistema de infraestrutura inteligente é o fluxo de energia, fluxo de informação e infraestrutura de comunicação subjacente à rede elétrica inteligente. Ele suporta dois sentidos de fluxo de eletricidade e de informação. Por exemplo, no sistema tradicional, a eletricidade é gerada pela usina, então movida pela rede de transmissão, pela rede de distribuição e, finalmente, entregue para os consumidores. Em uma rede elétrica inteligente, a eletricidade também pode ser injetada de volta para a rede pelos consumidores.
- 2) Sistema de gestão inteligente: A principal razão pela qual a rede elétrica inteligente está sendo implantada é a grande quantidade de funcionalidades que essa estrutura pode oferecer. Até agora, essas funcionalidades estão

sendo utilizadas para: melhora da eficiência energética, balanço do consumo e demanda, redução de custos e melhor aproveitamento da energia.

- 3) Sistema de proteção inteligente: Com a nova infraestrutura, a rede elétrica inteligente não deve ser apenas um sistema inteligente de gestão, mas também proporcionar uma forma mais inteligente de proteção que possa apoiar mecanismos de falha de proteção, abordar questões de segurança cibernéticas, e preservar a privacidade.

O sistema de infraestrutura inteligente pode ser dividido em: energia inteligente, informação inteligente e comunicação inteligente.

O subsistema de informação inteligente é responsável pela medição, monitoramento e gestão da informação. Já o subsistema de comunicação inteligente é responsável pela comunicação e transmissão de informações entre os sistemas, dispositivos e aplicativos da rede.

A geração, distribuição e consumo de eletricidade é responsabilidade do subsistema de energia inteligente. No próximo item será explicada a estrutura, características e conceitos desse subsistema.

2.3.1 Subsistema de energia

A rede elétrica atual é unidirecional. A eletricidade é gerada em algumas usinas centrais por meio de geradores eletromecânicos, principalmente impulsionados pela força da água no Brasil. Por motivos geográficos, as usinas geradoras são normalmente muito grandes e se localizam longe de áreas densamente povoadas. A energia gerada é elevada para uma tensão maior para que possa ser transmitida na rede de transmissão com baixas perdas. A rede de transmissão entrega essa energia para as subestações. Após a chegada em uma subestação, a tensão será diminuída a um nível de distribuição. Logo que sai da subestação, entra na rede de distribuição. Finalmente, chega ao local de consumo, onde o nível de tensão novamente é abaixado de distribuição para o valor desejado de baixa tensão. A FIGURA 2 mostra um exemplo da rede de energia tradicional (FARHANGI, 2010).



FIGURA 2 – REDE DE ENERGIA TRADICIONAL
 FONTE: Adaptado de Fang et al. (2012)

Em contraste com a rede de energia tradicional, a geração e o fluxo de energia devem ser mais flexíveis em uma rede elétrica inteligente. Por exemplo, a rede de distribuição pode também gerar eletricidade usando painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas.

O sistema elétrico convencional pode ser subdividido em: geração de energia, transmissão e distribuição.

a) Geração de energia

Como os combustíveis fósseis estão se esgotando e ficando cada vez mais caros, espera-se que a energia renovável venha a desempenhar um papel importante no futuro do Setor Elétrico.

Em contraste com o sistema atual, a geração mais inteligente de energia torna-se possível com a implantação de fluxos bidirecionais de eletricidade e de informação. É nesse contexto que o conceito de geração distribuída e microrrede se tornam importante (FANG *et al.*, 2012).

A geração distribuída (GD) é o conceito de geração elétrica realizada junto ou próxima aos consumidores. As tecnologias de GD incluem motores de combustão interna, microturbinas, turbinas a gás, geração com recursos renováveis como biodigestores, geração eólica, fotovoltaica, etc. (LEZAMA; FELTRIN, 2011).

Microrredes é um agrupamento localizado de geradores de eletricidade, acumuladores de energia e cargas. Na operação normal, é ligada a uma rede de energia tradicional (macrorrede). Os usuários em uma microrrede podem gerar energia de baixa tensão usando geração distribuída, tais como, painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e células a combustível. O único ponto de acoplamento comum com a macrorrede pode ser desligado, assim a microrrede pode funcionar de forma isolada. Esta operação vai resultar em uma microrrede isolada, na qual os geradores distribuídos continuam fornecendo energia para os usuários sem precisar da concessionária localizada na macrorrede. A FIGURA 3 mostra um exemplo de microrrede, na qual pode-se observar que, embora esses usuários não recebam eletricidade de fora no modo ilhado, eles ainda podem trocar algumas informações com o macrorrede. Por exemplo, eles podem querer saber o *status* da macrorrede e decidir se devem se reconectar para obter energia de uma concessionária (LASSETER; PAIGI, 2004).

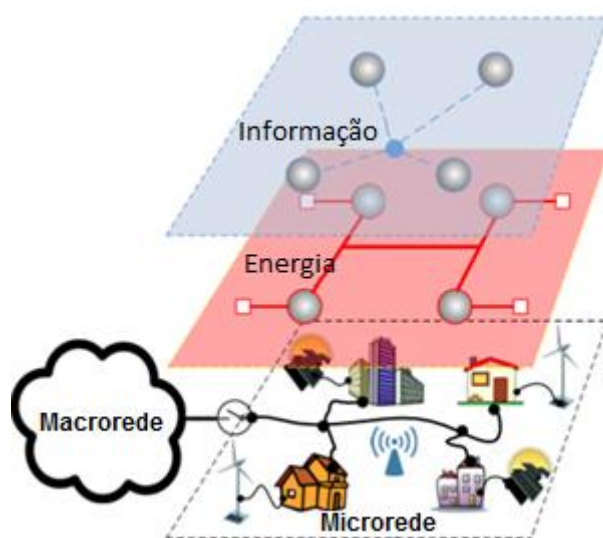


FIGURA 3 – EXEMPLO DE MICRO REDE
FONTE: adaptado de Fang et al. (2012).

Assim, o paradigma chave da geração de energia será a geração distribuída na rede elétrica inteligente. A GD tira vantagem dos recursos distribuídos de energia (do inglês, *Distributed Energy Resources* – DER), por exemplo, painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas pequenas, que são muitas vezes geradores de pequena escala de potência (tipicamente na faixa de 3 kW a 10.000 kW) a fim de melhorar a qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia. Por exemplo, uma microrrede, pode ser

desligada por uma macrorrede de modo que geradores distribuídos continuem a fornecer energia para essa microrrede sem obter energia de fora. Assim, o distúrbio na macrorrede pode ser isolado e a qualidade da energia elétrica é melhorada.

No entanto, a implementação de GDs na prática não é uma operação simples devido a várias razões. Em primeiro lugar, a geração a partir de recursos renováveis tem rendimentos variáveis e isso deve ser bem estudado para ser equilibrado dentro de uma GD. Outro problema seria que o custo de manter pequenos geradores distribuídos é bem maior do que ter apenas uma grande usina como é feito hoje. Considerando os potenciais benefícios da GD sobre a qualidade da energia, uma pesquisa sistemática sobre como equilibrar os altos custos de capital e os suprimentos confiáveis de energia obtidos pelo GD é essencial (MOLDERINK et al., 2010).

Note que como a GD permite que os usuários implantem seus próprios geradores, a sua implantação em larga escala de GD também altera o tradicional design do sistema atual, em que os geradores são ligados à rede de transmissão.

O desenvolvimento e implantação de GD ainda levam a mais um conceito, usina virtual (do inglês, *Virtual Power Plant* - VPP), que gerencia um grande grupo de geradores distribuídos com uma capacidade total comparável à de uma central elétrica convencional. Este grupo de geradores distribuídos é coletivamente controlado por um controlador central. Tal VPP pode substituir uma usina convencional, proporcionando maior eficiência e maior flexibilidade. Note-se que uma maior flexibilidade permite ao sistema reagir melhor às flutuações do sistema elétrico. No entanto, uma VPP é também um sistema complexo que exige otimização, controle e uma metodologia de comunicação segura.

b) Rede de transmissão

No lado de transmissão de energia, fatores como desafios da infraestrutura (crescentes demandas de carga e rápido envelhecimento dos componentes) e tecnologias inovadoras (novos materiais e tecnologias de comunicação) vão impulsionar o desenvolvimento de redes de transmissão inteligente. A rede de transmissão inteligente pode ser considerada como um sistema integrado que funcionalmente é constituído por três componentes interativos: centros de controle inteligentes, redes de transmissão de energia inteligentes e subestações inteligentes.

As redes de transmissão de energia inteligentes são conceitualmente construídas sobre a infraestrutura de transmissão existente elétrica. Como sempre, o surgimento de novas tecnologias (por exemplo, novos materiais, eletrônica, sensores, comunicação, computação e processamento de sinal) pode ajudar a melhorar a utilização da energia, a qualidade de energia e a segurança e confiabilidade do sistema, portanto, impulsionar o desenvolvimento de um novo quadro arquitetônico para redes de transmissão.

A visão da subestação inteligente é construída sobre a já existente tecnologia de automação de subestações. Embora as configurações básicas de subestações de alta tensão não tenham mudado muito ao longo dos anos, o monitoramento, medidas e equipamentos de controle sofreram uma mudança radical nos últimos anos. As principais características de uma subestação inteligente incluem a digitalização, automação, coordenação e autorrecuperação. Ao apoiar esses recursos, uma subestação inteligente é capaz de responder rapidamente e proporcionar maior segurança ao operador. Sendo assim, com uma plataforma comum digitalizada, a rede inteligente de transmissão terá mais flexibilidade no controle e operação, promovendo a confiabilidade e sustentabilidade da rede.

c) Rede de distribuição

Para a rede de distribuição, o problema mais importante é como entregar energia para servir os usuários finais da melhor forma possível. No futuro muitos geradores distribuídos irão ser integrados na rede de distribuição inteligente, isso vai aumentar a flexibilidade do sistema para geração de energia, mas também torna o controle do fluxo de energia muito mais complicado.

Um trabalho de pesquisa feito por Takuno *et al.* (2010) propôs dois sistemas de distribuição de energia, em que a informação é adicionada a energia elétrica em si e essa energia é distribuída de acordo com essa informação. O primeiro é um sistema de comutação de circuitos com base em distribuição de energia de corrente alternada (AC), e o segundo é um sistema de energia de corrente contínua (CC) de expedição através de pacotes de energia. O sistema proposto tem o potencial como um roteador de energia inteligente. Mais especificamente, a energia fornecida pode ser dividida em várias unidades de carga. Um cabeçalho e um rodapé estão ligados à unidade para formar um pacote de energia elétrica. Quando o roteador recebe pacotes, eles são classificados de acordo com os endereços nos cabeçalhos e, em

seguida, enviados para as cargas correspondentes. Usando pacotes de energia, o fornecimento de energia é facilmente regulado através do controle do número de pacotes enviados.

2.3.2 Subsistema de informação

O objetivo mais importante de sistemas inteligentes de medição é recolher valores de medição de dispositivos remotos (por exemplo, medidores inteligentes de energia e sensores) e integrá-los em um sistema complexo e unificado para aquisição e controle destas informações. Com a introdução dos medidores inteligentes é possível controlar o consumo por consumidor individual (VUKMIROVIC *et al.*, 2010).

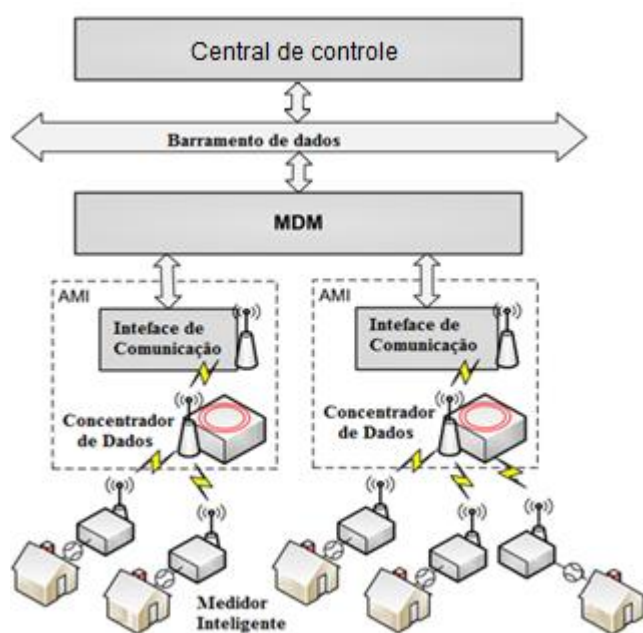


FIGURA 4 – ARQUITETURA SG
FONTE: adaptado de Vukmirović *et al.* (2010).

A FIGURA 4 propõe uma arquitetura genérica de rede elétrica inteligente. Para entender essa arquitetura em primeiro lugar deve-se definir o que é leitura automática da medição (do inglês, *Automated Meter Reading* - AMR), que é a tecnologia que coleta automaticamente dados de consumo, de diagnóstico e *status* de dispositivos de medição de energia e transfere os dados para um banco de

dados central onde pode ser feito o faturamento, análise e solução de problemas operacionais.

A infraestrutura avançada de medição (do inglês, *Advanced Metering Infrastructure* - AMI) difere da AMR tradicional porque permite comunicação bidirecional com os medidores inteligentes de energia elétrica e outros serviços através de diversos tipos de comunicação. Assim, toda a informação de medida de energia da residência de um cliente se torna disponível em tempo real. Isso é muito importante tanto para a concessionária como para o consumidor. A concessionária pode prever sua demanda futura e assim controlar melhor seus recursos e o consumidor pode ter maior controle sobre o que está gastando.

O gerenciamento de dados do medidor (do inglês, *Meter Data Management* - MDM) se preocupa em processar e gerenciar dados gerados pelos medidores, a fim de aperfeiçoar processos do centro de operação como tarifa, eficiência operacional, serviços ao consumidor, previsão de demanda de energia, gerenciamento pelo lado da demanda, gestão de fraudes, entre outros (VIEIRA *et al.* 2011).

Medidor inteligente de energia (do inglês, *Smart meter* – SM) é um medidor eletrônico de energia elétrica com aplicações que vão muito além da medição do consumo de energia ou recursos, registrando dados em intervalos de tempo configuráveis e permitindo comunicação bidirecional com o centro de operações.

2.3.3 Sistema inteligente de medição e controle residencial

A arquitetura de um sistema genérico de medição e controle residencial é representada na FIGURA 5:



FIGURA 5 – SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE RESIDENCIAIS

FONTE: Adaptado de Di Giorgio *et al.* (2011)

O componente principal dessa arquitetura é o controlador inteligente residencial (do inglês, *Smart Home Controle* – SHC), que é responsável pela gestão das cargas no interior da casa, a fim de alcançar os objetivos de otimização energética residencial. Esse equipamento pode monitorar cargas residenciais através de comunicação (*ZigBee*, por exemplo) com os seguintes dispositivos, micromedidores de energia elétrica, medidor inteligente de energia elétrica e fontes de geração distribuída (DI GIORGIO *et al.*, 2011):

Os eletrodomésticos inteligentes estão nessa estrutura e são capazes de fornecer previsão de consumo de energia para cada horário solicitado e qual será seu consumo no próximo momento, assim um sistema de otimização pode comandar esse equipamento de forma a manter a comodidade do usuário e obter economia no consumo de energia;

Os micromedidores inteligentes de energia (do inglês, *Smart plugs* – SP) são medidores de energia de baixo custo capazes de fornecer medição de energia e implementar controle de liga e desliga em cargas neles conectadas. Como estes equipamentos fazem parte do escopo principal do presente trabalho, os mesmos serão detalhados no terceiro capítulo desta dissertação.

Nessa estrutura também estão os medidores inteligentes de energia já definidos anteriormente. Esses medidores têm a capacidade de comunicar com a

residência e com a concessionária de energia e são esses equipamentos que garantem a comunicação bidirecional.

2.3.4 Monitoramento inteligente e medição

León *et al.* (2007) propuseram que as redes de sensores devem ser incorporadas as redes elétricas inteligentes para ajudar a avaliar as condições em tempo real, mecânicas e elétricas de linhas de transmissão, obter um quadro completo físico e elétrico do sistema de energia em tempo real, obter diagnóstico iminente, assim como faltas permanentes, e determinar medidas de controle adequadas que poderiam ser tomadas automaticamente pelos operadores.

Redes de sensores sem fio (do inglês, *Wireless Sensor Networks* - WSNs), em particular, dadas ao seu baixo custo, podem fornecer uma percepção viável e uma plataforma de comunicação para o sistema de monitoramento e diagnóstico remoto.

2.3.5 Subsistema de comunicação inteligente

A terceira parte do sistema de infraestrutura inteligente é o subsistema de comunicação. Este subsistema é responsável pela comunicação e transmissão de informação entre os sistemas, dispositivos e aplicações no contexto de redes elétricas inteligentes.

A questão mais importante no subsistema de comunicação é, "Qual tecnologia de comunicação deve ser usada?". Embora haja um acordo geral sobre a necessidade de redes de comunicações para suportar um fluxo bidirecional de informações entre as várias entidades na rede elétrica, ainda há muito debate sobre tecnologias específicas que devem ser utilizadas em cada domínio de aplicação da rede elétrica inteligente e como elas devem ser implementadas.

A FIGURA 6 mostra uma proposta de arquitetura simples de comunicação em uma rede elétrica inteligente, a qual pode ser dividida em: rede de longa distância (do inglês, *Wide Area Network* - WAN), rede local (do inglês, *Local Area Network* - LAN) e rede doméstica (do inglês, *Home Area Network* - HAN).

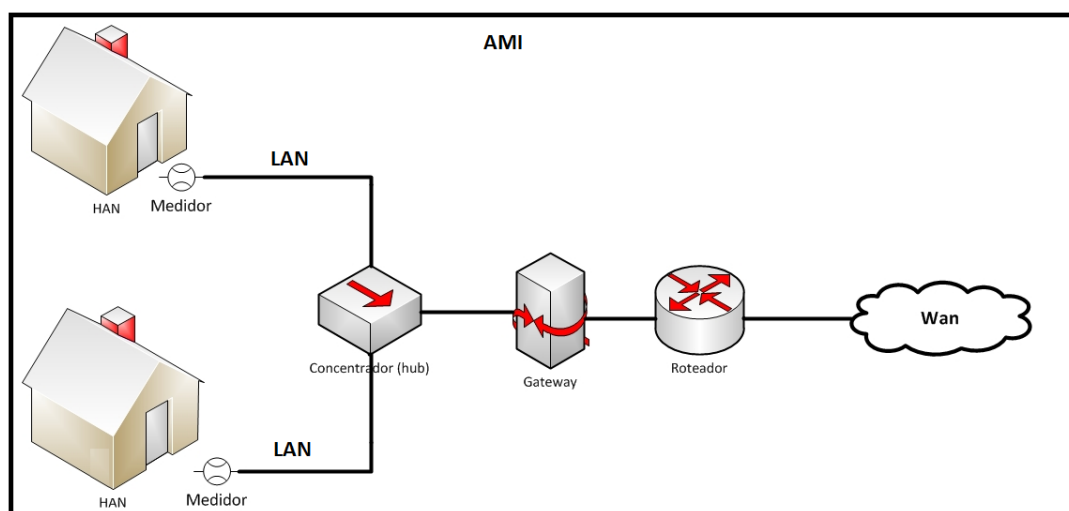


FIGURA 6 – ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO EM SC
FONTE: A autora (2012)

O subsistema WAN é responsável pela interconexão de *gateways* e concentradores utilizando um canal central chamado *backbone*. As tecnologias utilizadas neste subsistema são as mais variadas, como rádio de maior potência (micro-ondas), fibra óptica, rede celular (GPRS, 3G), satélite, dentre outras.

O subsistema LAN constitui o núcleo da AMI e realiza a comunicação bidirecional diretamente com os medidores inteligentes de energia, utilizando, principalmente, as tecnologias de rádio frequência, *ethernet*, *wireless* e PLC (*Powerline Communication*). As topologias de rede a serem utilizadas na LAN são basicamente estrela (do inglês, *star*) e malha (do inglês, *mesh*), esta última mais tolerante a falhas.

O subsistema HAN representa a comunicação no interior da residência dos consumidores, visando melhorar a eficiência energética e estimular o uso racional da energia. Deve interligar o medidor inteligente de energia, micromedidores inteligentes de energia, eletrodomésticos inteligentes e o controlador residencial. As tecnologias principais utilizadas seriam: Wi-Fi, PLC, *ZigBee*, entre outras.

Em especial, o *ZigBee* é uma tecnologia *wireless* que é projetada para aplicações de radiofrequência que exigem uma baixa taxa de dados, baixo consumo e redes seguras. Deverá ser uma das tecnologias de comunicação mais utilizadas na rede local do cliente. O *ZigBee Smart Energy* que é um protocolo de aplicação, que foi definido como um dos padrões de comunicação para uso no domínio da rede do cliente da rede elétrica inteligente pelo *National Institute of Standards and*

Technology (2009). O *ZigBee* também foi selecionado por muitas empresas de energia elétrica como a tecnologia de comunicação para os dispositivos de medição inteligentes, uma vez que fornece uma plataforma padronizada para troca de dados entre dispositivos de medição inteligentes e aparelhos localizados nas instalações do cliente. As funcionalidades suportadas pela arquitetura de comunicação da rede elétrica inteligente incluem resposta à demanda, o apoio de medição avançada, em tempo real, preços, mensagens de texto, e controle de carga.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

No âmbito da presente dissertação, destaca-se a aplicação dos conceitos de HAN baseado em Zigbee para comunicação dos micromedidores com o controlador central, o qual permite o controle dos micromedidores realizando as tarefas de gerenciamento pelo lado da demanda, monitoramento e armazenamento de dados sobre o consumo do cliente.

O controlador central da residência pode se comunicar com o medidor inteligente, que conforme descrito no capítulo, também deve ter uma comunicação bidirecional com a concessionária e assim a informação de consumo pode se tornar transparente para toda a rede elétrica inteligente.

CAPÍTULO 3: GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA E MICROMEDIDOR INTELIGENTE DE ENERGIA

3.1 INTRODUÇÃO

Gerenciamento pelo lado da demanda (do inglês, *Demand Side Management - DSM*) é o planejamento, implementação e monitoramento de atividades desenvolvidas pelo lado da demanda, ou seja, pelas empresas de energia elétrica. Essas atividades têm como objetivo influenciar o uso do cliente de eletricidade de forma que irá produzir mudanças desejadas na curva de carga do consumidor, isto quer dizer, mudanças no padrão de tempo e magnitude da carga (GELLINGS, 1985).

Em vários países práticas de controle pelo lado da demanda são bastante comuns, já no Brasil pode-se citar a idealização da tarifa amarela para consumidores residências que foi uma estrutura tarifária proposta em 1985. A tarifa amarela poderia reduzir o valor da tarifa paga pelo consumidor, desde que este mudasse os seus hábitos de consumo de acordo com os preços diferenciados de energia durante o dia (DNAEE, 1985).

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou um regulamento que estabelece a estrutura tarifária chamada Tarifa Branca. Essa estrutura consiste em valores diferenciados da tarifa elétrica durante os dias da semana, com três níveis: horário fora de ponta, horário intermediário e horário de pico (ANEEL, 2010).

Com a entrada de tarifas com valores diferenciados um programa automático de controle da demanda se torna importante para o consumidor final. O controle automático de consumo pode ser implementado com a instalação de micromedidores inteligentes, que tem a funcionalidade do monitoramento e controle em tempo real de cargas isoladas.

3.2 OBJETIVOS DE UM PROGRAMA DE GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

Segundo Gellings (1985), tem como objetivo modificar a curva de carga de um consumidor final. Assim são distinguíveis seis possibilidades: rebaixamento do pico, preenchimento de vales, mudanças da carga, conservação estratégica, crescimento estratégico da carga e curva de carga flexível.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, extraída de Gellings (1985), mostra o que seria cada possibilidade.

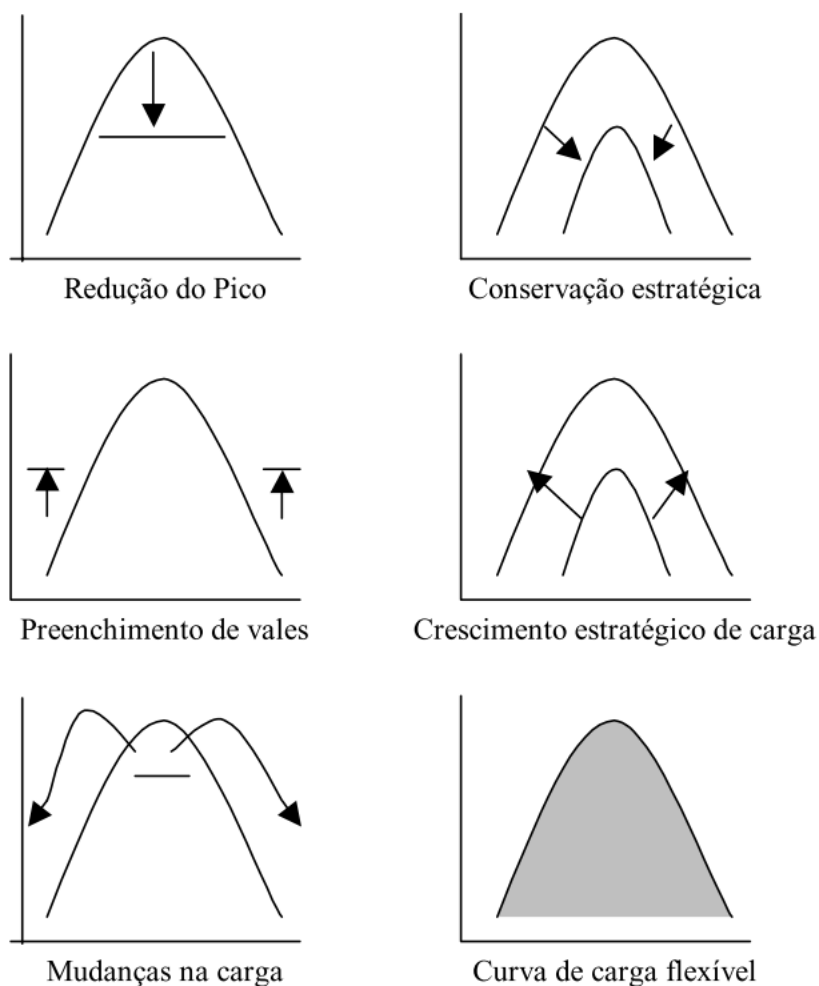


FIGURA 7 – FORMAS DE MODIFICAR A CURVA DE CARGA DE UM CONSUMIDOR
FONTE: Gellings (1985)

A redução o pico (do inglês, peak clipping) é uma das formas mais clássica e simples de controlar a forma da curva de carga de um usuário final. Caso a

concessionária precise que a carga seja reduzida no horário de pico, será desligado um equipamento do usuário final. É uma forma agressiva e deve ser usada como último recurso.

O preenchimento de vales (do inglês, *valley filling*) é a segunda forma clássica de gerenciamento pelo lado da demanda. Neste caso o objetivo é preencher os horários fora de pico com cargas de uso final, isso é interessante quando o custo marginal supera o custo médio da energia.

Deslocamentos de carga (do inglês, *load shifting*) é a última forma clássica de gerenciamento pelo lado da demanda. O objetivo seria deslocar cargas de funcionamento durante o horário de pico para o horário fora de pico. Pode-se citar como principal exemplo o uso do chuveiro elétrico no Brasil que geralmente é usado em horário de pico. Caso tivesse um incentivo em relação à tarifa a população poderia modificar seu hábitos de forma a deslocar esse consumo para horários fora de ponta.

Outro exemplo que pode ser citado é o uso de equipamentos de grandes empresas, que poderiam deslocar o funcionamento de certos equipamentos para o turno da noite.

A conservação estratégica (do inglês, *strategic conservation*) é uma mudança que geralmente ocorre quando aparelhos de uso final são trocados por outros mais novos com consumo menor. Verifica-se no mercado de eletrodomésticos uma crescente preocupação com a diminuição do consumo de um modo geral, indicando assim uma tendência natural no futuro.

O crescimento estratégico de carga (do inglês, *strategic load growth*) é o crescimento de vendas da empresa, além do preenchimento dos vales citados a empresa deve incentivar a venda de energia. Isso pode ocorrer de várias formas, por exemplo, a substituição de qualquer forma de consumo de petróleo na forma de combustível para o consumo elétrico. Com o surgimento de carros elétricos essa carga deve crescer naturalmente no futuro.

A curva de carga flexível (do inglês, *flexible load shape*) ocorre quando através de incentivos financeiros o consumidor permite eventuais cortes de carga de seu fornecimento em qualquer momento. Assim a concessionária tem mais uma

forma eficiente de planejar seu fornecimento, diminuir seus gastos e manter seus índices de qualidade.

3.3 ALTERNATIVAS DE PROGRAMAS DE GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

Como visto, programas de gerenciamento pelo lado da demanda são atividades planejadas, implementadas e monitoradas por empresas de energia, com o intuito de provocar modificações na curva de carga. Como cada empresa atua individualmente, um mesmo objetivo pode ter uma resposta diferente, dependendo, por exemplo, da cultura da empresa ou do perfil dos consumidores. Apesar das inúmeras possibilidades, é possível desenvolver uma classificação genérica dos diversos tipos de alternativas de DSM.

O controle de equipamentos de uso final é uma das áreas com desenvolvimento mais ativo na tecnologia de DSM. O principal desenvolvimento se dá no segmento residencial. Um exemplo direto de aplicação desta alternativa para o Brasil seria o controle do uso do chuveiro elétrico.

Outra forma de DSM é o controle de equipamentos da empresa de energia, apesar de algumas controvérsias a respeito, há algumas modalidades de controle de equipamentos da própria empresa de energia que podem ser tidas como um programa de DSM. Como exemplos deste caso têm-se a redução estratégica da tensão no alimentador de distribuição e o controle do fator potência.

O armazenamento de energia é uma das primeiras técnicas de gerenciamento de carga (e conservação) utilizada. A técnica consiste em utilizar equipamentos fora do horário de pico para armazenar a energia na forma de calor ou frio, ou ainda em baterias. Durante o horário de pico, os equipamentos podem ser desligados e esse estoque então usado.

As tarifas incentivadas são, provavelmente, o ingrediente mais importante em muitos programas de DSM. Elas podem ser o programa em si ou serem usadas em conjunto com alternativas. Neste segundo caso, elas dão o direcionamento

econômico e a motivação necessários para a implementação, com sucesso, de um controle de DSM.

A geração distribuída é uma alternativa de DSM que pode tomar diversas formas. Alternativas como geração eólica, solar, geradores de energia e pequenas centrais hidrelétricas, desconectadas ou não do sistema, podem ser implementadas ou coordenadas pelas empresas para a consecução dos objetivos de um programa de DSM.

A promoção do programa de DSM junto aos consumidores são atividades planejadas pelas empresas para motivar as ações dos consumidores na direção dos objetivos propostos por um programa de DSM. Estas atividades devem buscar transformar o programa de DSM num programa da comunidade, envolvendo-a inteiramente com o objetivo de reconfigurar a curva de carga, principalmente no que diz respeito à redução da carga de pico. Este tipo de programa leva em conta a premissa de que a maioria das pessoas tem baixa consciência dos conceitos de gerenciamento de carga, mas responderão a incentivos indiretos no nível local se houver um esforço conjunto empresa e comunidade.

3.4 OPÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROGRAMAS DE DSM

Uma vez eleito o melhor programa de DSM, a etapa seguinte é a de implementação. Lymaye (1985) coloca que, genericamente, existem seis formas ou maneiras de implementação, quais sejam: educação do consumidor, contato direto como consumidor, cooperação em vendas, anúncios e promoções, preços alternativos e incentivos diretos.

Investindo em educação do consumidor, a empresa busca aumentar a consciência do consumidor quanto ao programa, bem como a sua percepção quanto ao valor do serviço. Isto pode ser feito, por exemplo, via propaganda direta ou inserções na fatura.

Com o contato direto com o consumidor a empresa, por meio de comunicação face a face, encoraja-o a aceitar e responder ao programa de controle

pelo lado da demanda. Exibições, *workshops* e inspeções de serviço podem ser utilizados nesta modalidade.

Mediante a associação com outras empresas, a concessionária de energia elétrica pode aumentar sua capacidade de marketing e de implementação do programa. Isto pode ser feito por meio da assinatura de convênios, via treinamentos ou certificação.

Anúncios e promoções aumentam a consciência do público sobre novos programas e tentam influenciar a resposta do consumidor. A mídia de massa ou locais exclusivos de venda e divulgação podem ser usados.

Preços alternativos de tarifas elétricas podem refletir o real custo econômico, assim o consumidor será encorajado a dar uma boa resposta ao programa. Várias modalidades tarifárias podem ser utilizadas nesta modalidade.

Para promover o seu programa, a empresa de energia pode dar subsídios na compra de produtos de maior eficiência energética. Na busca de melhor eficiência energética, várias distribuidoras brasileiras já distribuíram lâmpadas fluorescentes compactas a seus clientes. Isso seria uma forma de incentivo direto para que o consumidor final aceitasse melhor a implantação de um programa de DSM.

Tipicamente, o sucesso envolve a combinação de duas ou mais das alternativas expostas. Se, por exemplo, o consumidor reclama do desconforto, mas a tarifa é um grande atrativo, a empresa pode escolher a opção preço alternativo, combinando-a com as opções educação do consumidor, anúncios e promoções, por exemplo.

No Brasil, pode-se citar como programa de conservação de energia o PROCEL, que incentiva o uso racional de energia e o desenvolvimento de produtos com maior eficiência para atingir sua meta (ELETROBRÁS, 2012).

Outro exemplo nacional de programa de conservação de energia é o PEE (Programa de Eficiência Energética) regulado pela ANEEL e criado em 1998. O programa visa conseguir a maior eficiência energética através da troca e melhoria

de equipamento e instalações e mudança de hábitos dos consumidores mediante investimento realizado pelas Concessionárias de Energia.

3.5 TARIFA BRANCA

A ANEEL aprovou em 22 de Novembro de 2011 a nova sistemática de tarifação que foi discutida na Nota técnica nº 120/2010, sendo que essa nova forma de tarifação entrará em vigor entre 2012 e 2014.

Para os consumidores de baixa tensão, seja os residenciais, comerciais, industriais e de áreas rurais, a principal mudança é a criação da modalidade tarifária branca, que tem como principal objetivo a eliminação dos picos de demanda, utilizando para isso a sinalização de preços diferenciados por horário. Dessa forma diminui o custo da energia no final do mês para o consumidor e a necessidade de expansão da rede de distribuição para o atendimento do horário de pico.

Isso vem ao encontro com o novo conceito de redes elétricas inteligentes, onde todos os equipamentos estariam interligados e esse controle de carga poderia ser feito de forma automática para o usuário final.

Conforme exposto na Nota Técnica Nº 311/2011-SRE-SRD/ANEEL, uma das principais características da Tarifa Branca é a diferenciação nos valores de cobrança em função dos horários de consumo da energia, que foram agrupados em períodos distintos, chamados de postos tarifários (ANEEL, 2011).

A Tarifa Branca foi então estruturada com três postos tarifários: o Horário Fora de Ponta, o Horário Intermediário e o Horário de Ponta. Esta divisão baseou-se nas características de carregamento do sistema elétrico ao longo da semana (ANEEL, 2011):

- Ponta - período de três horas consecutivas diárias, exceção feita aos sábados, domingos e feriado;
- Intermediária – período formado pela hora imediatamente anterior e pela hora imediatamente posterior ao período de ponta, totalizando duas horas;

- Fora de ponta – período composto pelas horas complementares aos períodos de ponta e intermediária.

A FIGURA 8 mostra como são estes postos tarifários:



FIGURA 8 – TARIFA BRANCA
FONTE: ANEEL, 2011

A Nota Técnica Nº 311/2011-SRE-SRD/ANEEL também estabeleceu e esclareceu os seguintes pontos:

- O início do horário de ponta deve ser definido por cada concessionária de acordo com as características da curva de carga do seu sistema elétrico;

- A finalidade do posto intermediário é evitar o deslocamento das cargas para horas de pico em potencial, que usualmente são adjacentes às de ponta;

- Todos os consumidores de baixa tensão podem optar pela Tarifa Branca, exceto a Iluminação Pública e aqueles que já são enquadrados na Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), como o Consumidor Residencial de Baixa Renda

- A relação entre a tarifa do Horário de Ponta e a tarifa do Horário Fora de Ponta será cinco vezes maior;

- A relação entre a tarifa do Horário Intermediário e a tarifa do Horário Fora de Ponta será três vezes maior;

- A relação entre a tarifa do Horário de Fora de Ponta da Tarifa Branca e a Tarifa Convencional, chamada de constante “kz”, será inicialmente de 0,55.

Entretanto, a tarifa branca somente começará a valer quando as distribuidoras substituírem os medidores eletromecânicos de energia pelos medidores inteligentes de energia. Isso é totalmente justificado, visto que assim tanto a concessionária quanto o consumidor final terá maior controle de seu consumo.

3.6 MICROMEDIDOR INTELIGENTE DE ENERGIA

Micromedidor inteligente de energia é um medidor de energia com baixo custo de fabricação, tamanho reduzido e com um canal de comunicação bidirecional direta com o medidor central de uma residência, ou com um controlador central de cargas. Sua função é medir o consumo individualizado de cada carga, sendo que esse dispositivo também possibilita o corte via comando remoto, agendamento ou sobrecarga.

Em Morsali *et al.* (2012) foi desenvolvido um micromedidor inteligente de energia com capacidade de reconhecer a categoria dos aparelhos conectados e de acordo com uma escala de prioridades definir como essa carga deve ser tratada. Esse equipamento tem baixo custo de implementação e capacidade de medir e registrar o consumo de energia instantânea da carga conectada. Com auxílio de um equipamento de monitoramento desenvolvido no mesmo trabalho esse consumo pode ser verificado pelo usuário final e a carga pode ser chaveada.

A estrutura do equipamento desenvolvido por Morsali *et al.* (2012) pode ser separada em quatro blocos, conforme FIGURA 9.



FIGURA 9 – BLOCOS MICROMEDIDOR INTELIGENTE COM RECONHECIMENTO
FONTE: Adaptado de Morsali et al. (2012)

O reconhecimento é a parte do equipamento que reconhece qual é o tipo de carga conectada ao micromedidor inteligente de energia. Esse bloco determina qual a prioridade da carga, como: equipamentos médicos, aquecedores ou carga normal, cujos tipos podem ser configurados.

O sistema de medição é realizado através de um transformador de corrente e resistores para amostra de tensão. Com amostras de corrente e tensão o microcontrolador do sistema de medição é capaz de realizar o cálculo de energia.

A tecnologia do sistema de comunicação utilizada foi a RS-485, que é uma tecnologia de baixa complexidade e baixo custo.

Com o desenvolvimento do micromedidor inteligente de energia descrito, Morsali et al. (2012) realizou um projeto piloto onde o consumo de energia de uma residência foi reduzido utilizando um algoritmo de controle.

Já no artigo de Zhao et al. (2011) foi desenvolvido um micromedidor inteligente de energia para controle de cargas em uma residência. Juntamente com um medidor inteligente de energia, eletrodomésticos inteligentes e uma central de controle residencial o artigo propõe uma estrutura de funcionamento de uma residência incluída no âmbito das redes elétricas inteligentes.

O micromedidor inteligente de energia desenvolvido é usado para controle de eletrodomésticos de grande potência e do sistema de iluminação da residência. As principais funções do equipamento desenvolvido é receber comandos de uma

central de controle, medir o consumo da carga e em seguida transmitir os valores para a central e providenciar proteção para carga em caso de problemas com a da energia fornecida pela concessionária de energia.

A FIGURA 10 mostra o diagrama em blocos do equipamento desenvolvido por Zhao *et al.* (2011):

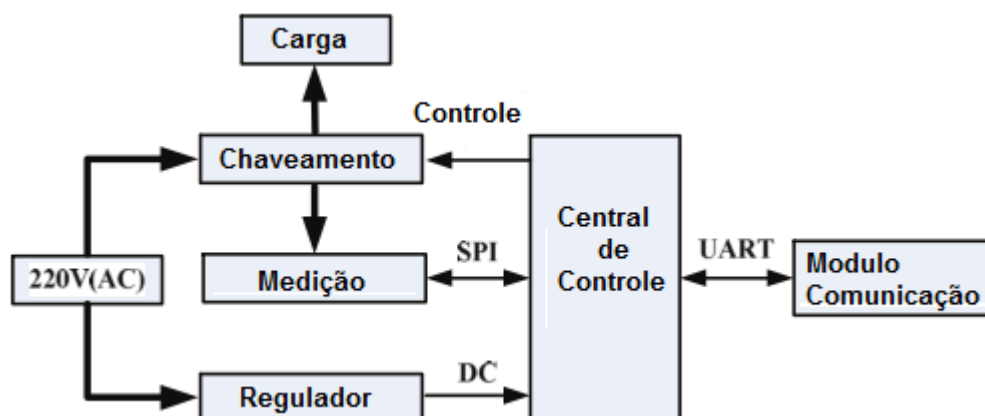


FIGURA 10 – DIAGRAMA EM BLOCOS
FONTE: ADAPTADO DE Zhao *et al.* (2011)

A central de controle é composta por um microcontrolador que realiza todas as tomadas de decisões do equipamento. O regulador fornece +5 V e +3,3 V de tensão contínua para o restante da placa. O bloco de medição mede o consumo da carga conectada ao equipamento e disponibiliza para a central de controle. O chaveamento controla o relé que vai ligar ou desligar a carga de acordo com a instrução recebida pela central de controle. O módulo de comunicação realiza a transferência de dados entre o equipamento e a central de controle da residência.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O gerenciamento pelo lado da demanda já é uma realidade com diversos projetos piloto e ações no Setor Elétrico Brasileiro e Mundial, mas ainda é difícil para o consumidor otimizar o uso de suas cargas nessa nova realidade. Isso porque é complicado gerenciar carga sem saber exatamente qual o seu período de utilização e seu consumo.

Por isso o desenvolvimento de um equipamento capaz de medir a energia de forma pontual e controlar o consumo de energia é muito importante. Assim, surgiram os micromedidores inteligentes de energia, conforme exemplos apresentados.

O presente trabalho necessita dos conhecimentos das formas de controle previsto no gerenciamento pelo lado da demanda e o conceito de tarifação diferenciada, para assim otimizar a utilização das cargas e direcionar o desenvolvimento do micromedidor inteligentes de energia proposto.

CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODO

O desenvolvimento do trabalho foi realizado em três etapas, primeiramente foi desenvolvido um micromedidor inteligente para coleta de dados das cargas da residência, em seguida foi realizada a coleta de dados de um mês de consumo de energia elétrica em uma residência e depois com esses dados em mãos foi desenvolvido um método de controle do consumo de energia elétrica.

No item 4.1 é apresentada a pesquisa realizada para verificar as tecnologias de micromedidores inteligentes existentes no mercado, a qual direcionou as premissas para o desenvolvimento do micromedidor inteligente de energia desse projeto. No item 4.2 é mostrado como foi realizado o desenvolvimento do micromedidor inteligente utilizado no presente trabalho, explicando e detalhando o circuito eletrônico utilizado.

Já o item 4.3 descreve qual foi a rede de comunicação utilizada no sistema desenvolvido e o equipamento que realiza a conversão do padrão *ZigBee* para USB. Esse equipamento foi utilizado para leitura dos parâmetros enviados pelos micromedidores inteligentes de energia para o *software* de interface com o usuário.

Então, no item 4.4 são mostrados e explicados os principais fluxogramas do *firmware* utilizado no micromedidor inteligente e do *software* de interface com o usuário.

No item 4.5 é apresentada a metodologia da pesquisa de posse e hábitos e, em seguida, a estrutura de monitoramento de cargas na residência escolhida.





Ao final do capítulo, no item 4.6 é definido como foi desenvolvido o algoritmo para gerenciamento de cargas de uma residência.






4.1 TECNOLOGIA DE MICROMEDIDOR INTELIGENTE


Inicialmente, esperava-se usar um micromedidor inteligente disponível no mercado para realizar as medições previstas nesse trabalho, para tanto foi realizada uma pesquisa da tecnologia disponível para esse fim. A TABELA 1 mostra os modelos disponíveis, sendo que todos os equipamentos pesquisados tem controle de liga e desliga, incluindo comunicação *ZigBee*, *bluetooth* ou *wi-fi*.

Todos os equipamentos pesquisados tinham como principal problema o fato de não apresentar documentação necessária para saber se o equipamento tinha a capacidade de ser adaptado a qualquer rede *ZigBee*. Outro problema encontrado foi o fato de muitos fabricantes não venderem para o Brasil, ou ainda, quando o equipamento é disponibilizado para o Brasil, o mesmo contempla um kit com *software* próprio, o que inviabilizaria o objetivo de desenvolver um algoritmo de controle.

TABELA 1 –MICROMEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGIA DISPONÍVEIS NO MERCADO

	Foto	Empresa	Caract. Elétricas	Valor	Comunic.	Controle	Circuitos	Página	País	Monitora
WeMo		Belkin	120V 15A 60HZ	R\$110,00 Por smart plug	Wi-Fi	Software grátis	2	http://www.wemo.com	USA	Tensão, potência, demanda
safePlug 1202		SafePlug	120V 15A 60HZ	R\$120,00	ZigBee	Software pago	2	http://www.safepug.com	USA / Canada	Tensão, potência, demanda
Smart Socket (uLook-SE)		Adniss	120V 15A 60HZ	NC	NC	NC	1	http://www.adniss.jp/	Japão	Tensão, potência, demanda
ZOE-MP1		Smartenit	120V 15A 60HZ	R\$120,00	ZigBee	Software pago	1	http://www.simpl ehomenet.com	Canadá	Tensão, potência, demanda

Alertme		Alertme	120V 15A 60HZ	R\$110,00	Wi-Fi	Software pago	1	https://www.alertme.com	Inglaterra	Tensão, potência, demanda
Smart Plug		Ecobee	120V 15A 60HZ	R\$100,00	ZigBee	Software pago	1	http://www.ecobee.com/solutions/accessories/	Canadá	demanda
Meter plug		Stick-N-Find	120V 15A 60HZ	R\$100,00	Bluetooth	Software grátis.	1	http://www.sticknfind.com/product/meterplug/		Valor gasto em moeda
Plug In		HAI	120V 15A 60HZ	R\$110,00	ZigBee	Software pago	1	http://www.homeauto.com	USA	Tensão, potência, demanda
Wiser Smart Plug		Schneider Electric	120V 15A 60HZ	R\$110,00	ZigBee	Software pago	1	http://www.schneider-electric.ca	Alemanha	Tensão, potência, demanda

Modlet		ThinkEco	120V 15A 60HZ	R\$100,00	<i>ZigBee</i>	<i>Software</i> pago	2	http://www.thinkeco.com	USA	Tensão, potência, demanda
--------	-----------------------------------------------------------------------------------	----------	---------------------	-----------	---------------	-------------------------	---	---------------------------------------------------------------	-----	---------------------------------

FONTE: A autora (2013)

Outro fato importante para se verificar é o controle do modo de espera (do inglês, *stand-by*) dos equipamentos, a capacidade de cortar o funcionamento de uma carga em modo de espera é uma parte importante do algoritmo de controle residencial proposto no presente trabalho de mestrado. Todos os equipamentos pesquisados não deixaram claro se isso é possível, e como fazê-lo.

Assim, foi decidido desenvolver uma solução própria, na qual algumas características foram observadas:

- comunicação *ZigBee* – ideal para controle residencial, onde é necessário dispositivo de comunicação com baixo consumo de energia elétrica, baixa velocidade e taxa de transmissão.

- equipamento de baixo consumo – os componentes eletrônicos escolhidos foram os com menor consumo possível.

- botão de liga e desliga – o micromedidor inteligente é controlado por um algoritmo de gerenciamento pelo lado da demanda, caso o consumidor queira ligar ou desligar diretamente o eletrodoméstico conectado ao micromedidor inteligente é necessário um botão para possibilitar chaveamento manual.

4.2 PROJETO DO MICROMEDIDOR INTELIGENTE

Conforme apresentado no item 4.1, um micromedidor inteligente precisa ter algumas características básicas: medição de potência, baixo consumo de energia, baixo custo, controle de liga e desliga e trabalhar de forma integrada em uma rede elétrica inteligente. Na FIGURA 11 pode-se verificar um diagrama em blocos do micromedidor inteligente desenvolvido:

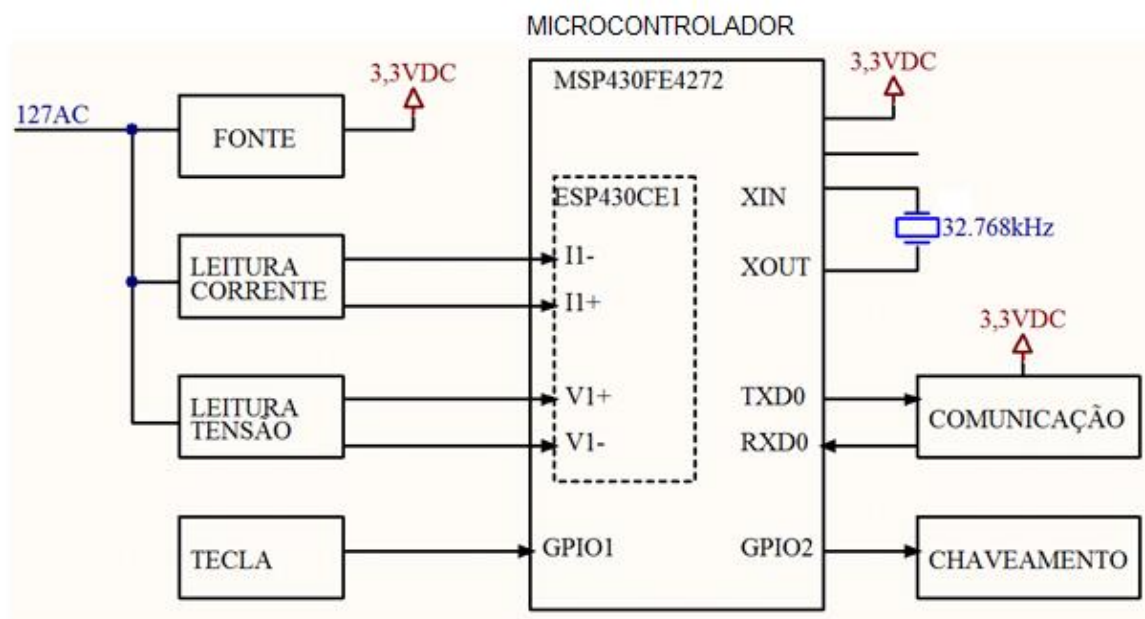


FIGURA 11 – DIAGRAMA EM BLOCOS SMART PLUG
FONTE: A autora (2012)

Em sequencia serão detalhados os componentes e funcionalidades de cada bloco.

- Fonte

A proteção de entrada é realizada por um varistor e circuito de filtro composto por transformador e capacitores.

A fonte tem como função alimentar a parte digital do equipamento. Foi utilizada uma fonte chaveada que converte 127 V AC para 5 V DC, baseada em um módulo pronto devido ao seu pequeno tamanho e preço. Depois disso foi colocado o regulador MIC5205-3.3 para diminuir para 3,3 V DC, pois essa tensão irá alimentar o microcontrolador e módulo de comunicação.

- Microcontrolador

Para atender essas características do micromedidor inteligente foi utilizado um microcontrolador da Texas, MSP430FE4272 devido seu baixo consumo, baixo custo e por ter um módulo de medição integrado.

É um microcontrolador de 16 bits da Texas Instruments, que possui arquitetura clássica *Von Neumann*, conjunto reduzido de instruções (RISC), tendo segundo (PEREIRA, 2005) como principais características:

- Módulo ESP430 integrado, que faz as medições de energia de forma independente;
- Baixo consumo: os MSP430 são dispositivos conhecidos pelo consumo da ordem de 0,1 μA para retenção de dados na RAM, 0,8 μA para funcionamento no modo de relógio de tempo real e cerca de 250 $\mu\text{A}/\text{MIPS}$ em modo normal;
- Baixa tensão de operação: operam com tensões de 1,8 V a 3,6 V, sendo que para programação da FLASH a maioria dos dispositivos opera com 2,7 V;
- Conjunto de instruções ortogonais: disponibilidade de qualquer modo de endereçamento para qualquer instrução e qualquer operando permite que se escrevam códigos pequenos e eficientes;
- Facilidade de gravação e depuração: possui interface JTAG para gravação e depuração, permitindo a programação e a depuração do *firmware* diretamente na placa de aplicação.
- Grande quantidade de periféricos: a família MSP430 conta com um grande número de periféricos internos, com ênfase especial para conversores A/D de até 16 bits, conversores D/A, comparador analógico, amplificador operacional programável, timers com diversos modos de funcionamento (incluindo PWM), controlador DMA, LCD, interface serial síncrona e assíncrona, multiplicador por hardware executando operações de multiplicação e acumulação.

Além de efetuar as medidas o microcontrolador faz o controle de atuação do relé, lê a entrada conectada na tecla e se comunica com o módulo de comunicação *ZigBee* através de uma porta UART.

O módulo de medição integrado é o ESP430CE1, Texas (2008), que tem a capacidade de processar sinal de forma independente do microcontrolador e disponibilizar essa informação para sua utilização no *firmware*. Esse módulo pode fornecer: energia ativa (kWh), potência ativa, potência reativa, potência aparente, tensão e corrente eficazes, fator de deslocamento e frequência.

- Leitura de Corrente

Para realizar as medidas foi utilizado um resistor *shunt* em série com a carga. O valor de resistor escolhido foi de 0,001 Ohm com baixa indutância e alta

resposta em frequência para a medida de cargas de até 10 A. A FIGURA 12 mostra a colocação do shunt no neutro. Para proteção é colocado um diodo supressor de transientes e em seguida dois indutores em série para bloquear ruídos de alta frequência existentes na rede. O filtro *anti aliasing* foi colocado com objetivo de evitar influências ao sinal de conversão. Este circuito foi desenvolvido seguindo a documentação da Texas (2011).

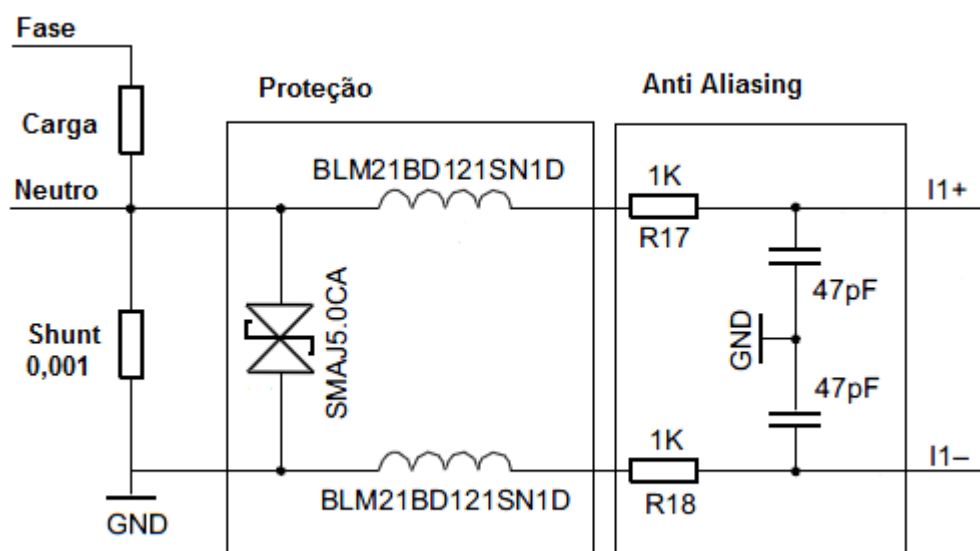


FIGURA 12 – CIRCUITO DE LEITURA DE CORRENTE
FONTE: Adaptado de Texas (2011)

- Leitura de Tensão

A leitura de tensão é realizada através de um divisor resistivo, os resistores escolhidos são de alta precisão (1%). A tensão no resistore de 1,5k Ohm deve ser menor e compatível com a entrada do microcontrolador. A proteção desse circuito já é feita na entrada da fonte, sendo que esse esquema foi baseado em Texas (2011) e pode ser verificado na FIGURA 13. O filtro *anti aliasing* foi colocado com objetivo de evitar influências ao sinal de conversão.

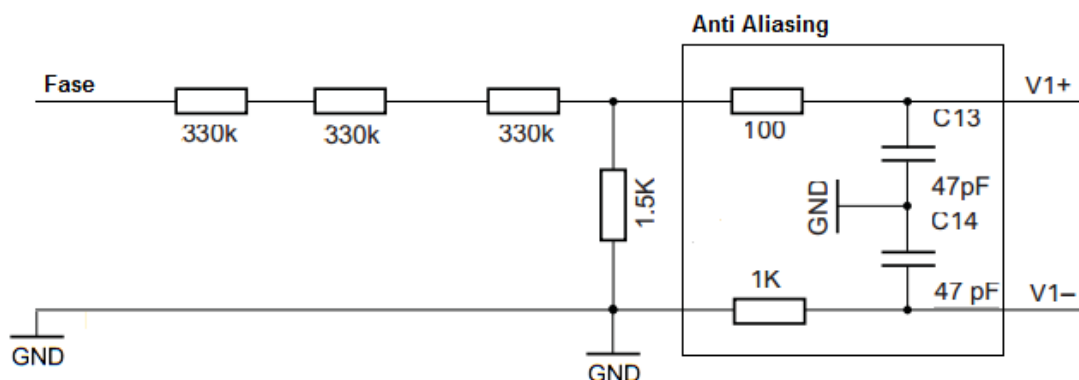


FIGURA 13 – CIRCUITO DE LEITURA DE TENSÃO
 FONTE: Adaptado de Texas (2011)

- Chaveamento da carga

O chaveamento é realizado através de um relé que faz o controle de liga e desliga da carga. Esse componente é controlado diretamente pelo microcontrolador e é acionado por uma mensagem do *software* de interface com o usuário ou se o usuário mudar o estado da chave de controle.

O relé utilizado é biestável, ou seja, funciona por pulsos e não necessita de uma corrente elétrica constante para manter o estado de seus contatos, isso quer dizer que uma vez que o relé recebe o impulso o contato fecha ou abre permanecendo assim até que outro impulso de corrente seja utilizado. Este tipo de relé foi utilizado por economizar energia em operação.

- Comunicação

Para comunicação foi utilizado módulo *ZigBee* que já tem a homologação da ANATEL. Esse módulo faz a comunicação com o microcontrolador através de uma *interface* serial assíncrona e depois converte esses dados para o padrão *ZigBee*.

Para tornar o desenvolvimento mais barato possível foi escolhido um módulo pronto disponível no mercado com um rádio *ZigBee*, antena e microcontrolador integrada. O módulo escolhido tem um microcontrolador baseado na plataforma 8051 e um circuito integrado de rádio da Texas CC2530, com características definidas em CC2530 (2010).

- Tecla

No micromedidor tem-se também um botão que serve para anular a ação do relé. Isso quer dizer que mesmo que o sistema mande o equipamento desligar o usuário pode religar sem problemas. Para essa função foi usado um *push bottom* para níveis baixos de corrente, o qual foi ligado diretamente no microcontrolador.

Para o desenvolvimento do *hardware* do micromedidor inteligente de energia são necessárias as seguintes atividades.

- Desenvolvimento do circuito impresso

A placa de circuito impresso foi desenvolvida através de uma ferramenta chamada *Altium*, na qual se desenvolveu o circuito elétrico e a placa. Todos os componentes utilizados são de tecnologia SMD, por diminuir o tamanho da placa, a qual foi montada em uma caixa plástica comum do mercado.

- Calibração

Uma etapa importante no desenvolvimento de um micromedidor é sua calibração, pois é a partir da realização dessa etapa que fica garantida a confiabilidade das medidas realizadas através do equipamento desenvolvido.

Essa calibração é realizada por *firmware* e sua descrição pode ser encontrada na documentação do ESP430CE1, Texas (2008). Em um primeiro momento deve-se definir os valores do projeto (por exemplo, tensão nominal, corrente nominal e máxima, frequência da rede). Em seguida coloca-se uma carga padrão de valor definido e características conhecidas. Assim pode ser calculado, de acordo com Texas (2008), o valor dos seguintes parâmetros:

- *calVoltage* – valor de tensão nominal para calibração e medição;
- *calCurrent* – valor de corrente nominal para calibração e medição;
- *calPhi* – valor do ângulo em graus de defasagem entre tensão e corrente da rede;
- *calCosPhi* – valor de fator de potência da rede;
- *calFreq* – valor de frequência nominal.

Com esses parâmetros o ESP430CE1 pode efetuar a medida de forma correta, realizando as compensações de erros que ocorrem devido a tolerância de componentes e variação de características técnicas de cada placa.

4.3 REDE DE COMUNICAÇÃO ZIGBEE

O esquema do sistema gerenciamento pelo lado da demanda foi montado como uma rede *mesh* que é composta por vários nós, que se comportam com uma grande rede, possibilitando que um dispositivo de comunicação possa se conectar a qualquer nó. Essa presente configuração tem um coordenador de comunicação e vários roteadores e *end devices*. No presente trabalho o coordenador foi um *notebook*, que continha o *software* de interface com o usuário e um módulo *ZigBee/USB*.

Todos os micromedidores inteligentes foram configurados como roteadores, porque era necessário aumentar o alcance de transmissão de cada um, assim foi possível manter a comunicação na casa toda. Uma vez o equipamento configurado como roteador, o mesmo tem a função de repetidor, assim, mesmo que distante, a informação irá chegar até a interface com o usuário.

Para formar uma rede *ZigBee* os seguintes passos são seguidos:

- Coordenador procura melhor canal;
- Coordenador cria uma rede;
- Coordenador permite acesso de outros dispositivos;
- Dispositivos procuram redes formadas em todos canais e pedem permissão;
- Coordenador então envia um endereço de rede para o dispositivo.

4.3.1 Pilha *ZigBee*

Outra ferramenta importante para o desenvolvimento do sistema é a pilha *ZigBee Z-STACK*, a qual é uma pilha desenvolvida pela Texas para ser usada nos módulos CC2531 e CC2530. Essa pilha é composta por um sistema operacional, e implementada utilizando o modelo OSI (*Open System Interconnection*) é dividida em camadas. O protocolo *ZigBee* é definido em camadas inferiores onde estão os algoritmos de roteamento, as regras para formação e integração da rede, sendo assim, o programador só precisa se preocupar com as camadas superiores onde sua aplicação é implementada.

4.3.2 Módulo *ZigBee*/USB

Para receber os dados enviados pelos micromedidores inteligentes foi necessário um conversor *ZigBee* para USB. Esse conversor funcionou como coordenador da rede *ZigBee*, cujo modelo foi CC2531EMK, FIGURA 14.



FIGURA 14 – MÓDULO ZIGBEE CC2531EMK
FONTE: TEXAS (2012)

4.4 FIRMWARE E SOFTWARE

Essa seção contempla o firmware do micromedidor inteligente, a linguagem de programação para interface do usuário, o banco de dados e o software para simulações.

Para desenvolver o firmware do microcontrolador da Texas é necessário um compilador, o qual foi usado o ambiente Embedded Workbench que é um ambiente integrado de desenvolvimento (do inglês, Integrated Development Environment – IDE), composto de um editor de arquivos, montador de assembly, compilador C e C++, simulador e emulador. Com essa ferramenta é possível desenvolver, compilar e testar o firmware que o micromedidor inteligente utiliza.

Foi desenvolvido um sistema de interface com usuário de forma para que este possa acompanhar o que está acontecendo com cada micromedidor inteligente. A ferramenta escolhida foi o Visual C# *Express*, que é desenvolvida pela Microsoft e tem distribuição gratuita, cuja utilização é intuitiva e amigável para iniciantes em linguagem C#.

Outra vantagem da Visual C# é sua integração com o MySQL, que é um gerenciador de banco de dados que utiliza a linguagem SQL e tem distribuição gratuita.

Para simulações e cálculos matemáticos foi utilizado o MATLAB, que é uma ferramenta robusta de simulação matemática com arquitetura aberta que facilita o desenvolvimento de algoritmos e simulações numéricas.

4.4.1 Principais fluxogramas do firmware

O equipamento micromedidor inteligente é basicamente formado por dois microcontroladores o MSP430FE4272 que comanda as principais funções da placa e um 8051 que está integrado no módulo de comunicação *ZigBee*.

O MSP430FE4272 tem como principais funções o controle do relé (1), leitura da chave (2) e controle da comunicação serial (3) conforme mostrado no fluxograma da FIGURA 15. O *firmware* começa executando funções de configuração das portas de entrada e saída, timer, módulo *ZigBee* e o módulo de leitura interna ESP430. Depois, entra em uma rotina em que fica realizando leitura da tecla e da serial. Caso a tecla seja acionada o programa verifica o estado da carga, caso esteja desligada será ligada e vice-versa. Caso recebe alguma mensagem da serial o programa verifica seu conteúdo e retorna com a resposta adequada.

Durante todo processo o microcontrolador fica entrando em uma interrupção de um segundo (4), quando ocorre a atualização das medidas e a energia é acumulada.

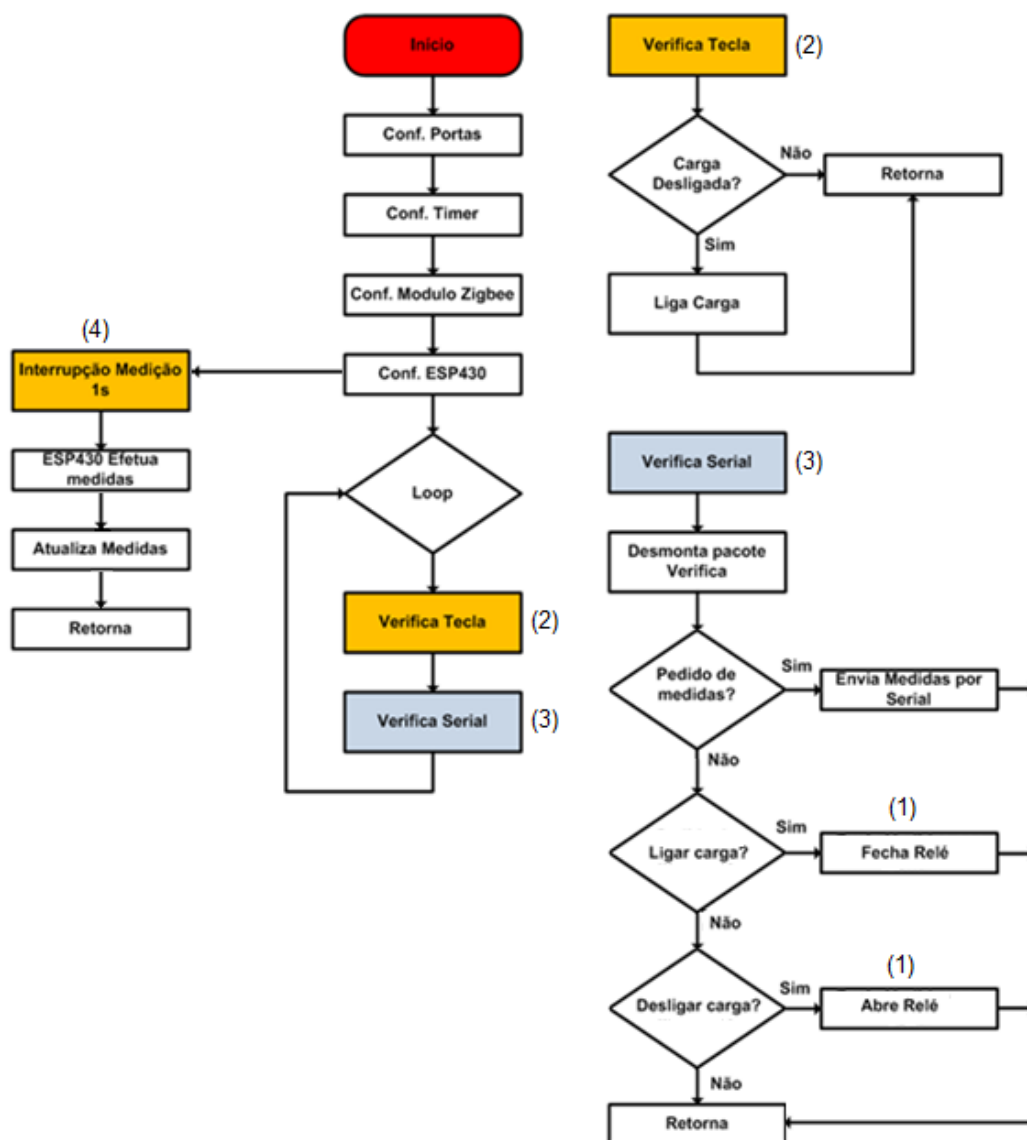


FIGURA 15 – FLUXOGRAMA GERAL DO MSP430
 FONTE: A autora (2012)

O firmware que está no módulo de comunicação foi feito sobre a pilha Z-STACK para o circuito integrado CC2530 que tem sua arquitetura baseado no microcontrolador 8051 da Intel. Suas funções são: enviar mensagem de início de operação para coordenador, receber requisição de medidas via rede, requisitar medidas para o MSP430, receber medidas do MSP430 e transmitir novamente para a rede. O funcionamento é baseado em tarefas e o próprio sistema operacional, contido na pilha, que gerencia a execução das mesmas. A tarefa ZNP (*ZigBee Network Protocol*) é responsável pela leitura e transmissão dos pacotes via wireless seguindo o protocolo IEEE802.15.4.

Na FIGURA 16 tem-se o fluxograma da camada de aplicação na qual se observa que o programa inicia com as configurações da serial (1) e das tarefas (2) que devem ser desenvolvidas durante o processo. Depois entra em um *loop* onde primeiramente verifica o *status* na rede (3), isso quer dizer, verifica se alguma rede foi criada e caso já tenha alguma rede manda uma solicitação de permissão para entrar na rede (4).

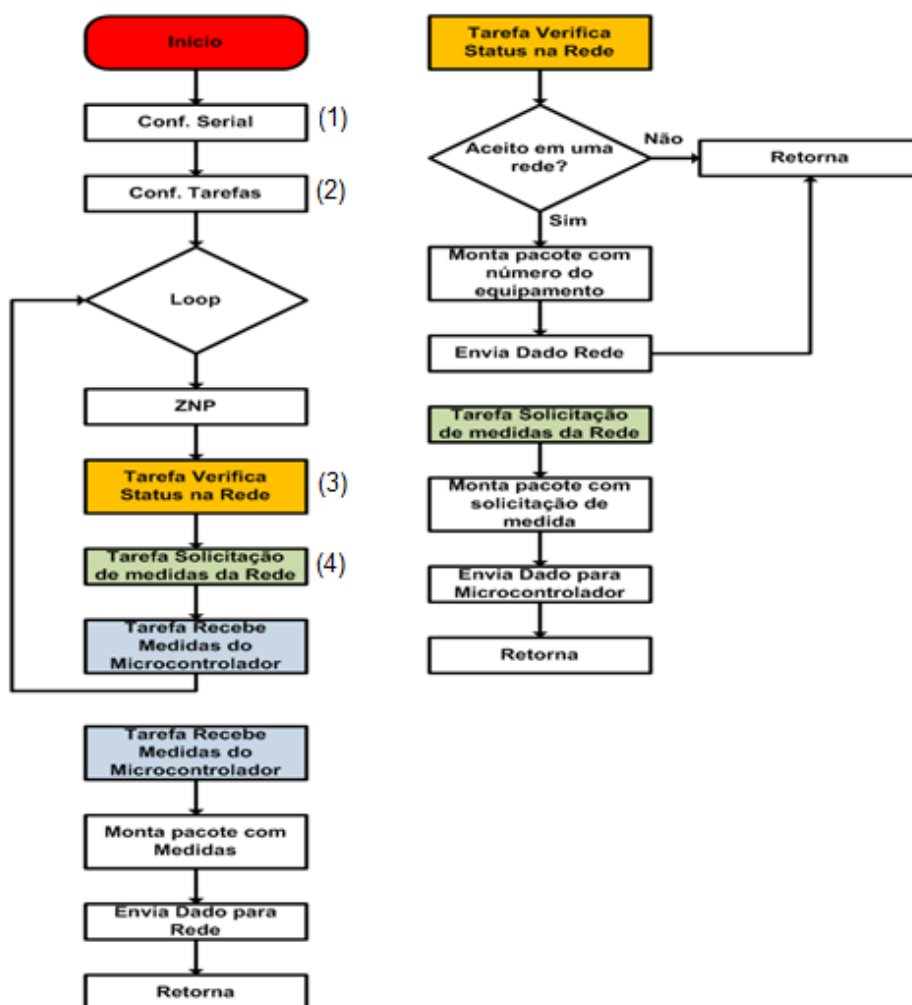


FIGURA 16 – FLUXOGRAMA DO FIRMWARE DE COMUNICAÇÃO
 FONTE: A autora (2012)

Depois de estar em uma rede o módulo começa tratar as tarefas da serial, que seriam receber medidas do microcontrolador e mandar medidas para o coordenador da rede. Esse módulo que fica recebendo medidas e mandando

medidas opera como um conversor que pega as medidas enviadas pelo microcontrolador via UART e transmite seguindo o protocolo *ZigBee*.

A ferramenta utilizada para programar o microcontrolador 8051 do módulo ZibBee foi IAR, juntamente com o JTAG. No momento de compilar o programador tem a opção de configurar qual a condição do equipamento na rede: coordenador, roteador e *end device*. No caso dos micromedidores inteligentes foi escolhido o roteador, por motivos já discutidos na seção 4.3 do capítulo 4.

Para coletar os dados e passar para o sistema de interface do usuário foi utilizado o módulo *ZigBee*/USB que tem o circuito CC2531. Esse componente funciona da mesma forma do CC2530 já mencionado na seção 4.3.2 do capítulo 4. As principais funções do coordenador são criar a rede, verificar o número do equipamento que entrou na rede (1), mandar essa identificação para interface do usuário, receber solicitação de medidas via USB (2) e transmiti-las pela rede, receber medidas da rede e transmiti-las por USB (3), verificar qual micromedidor inteligente saiu da rede (4),

FIGURA 17.

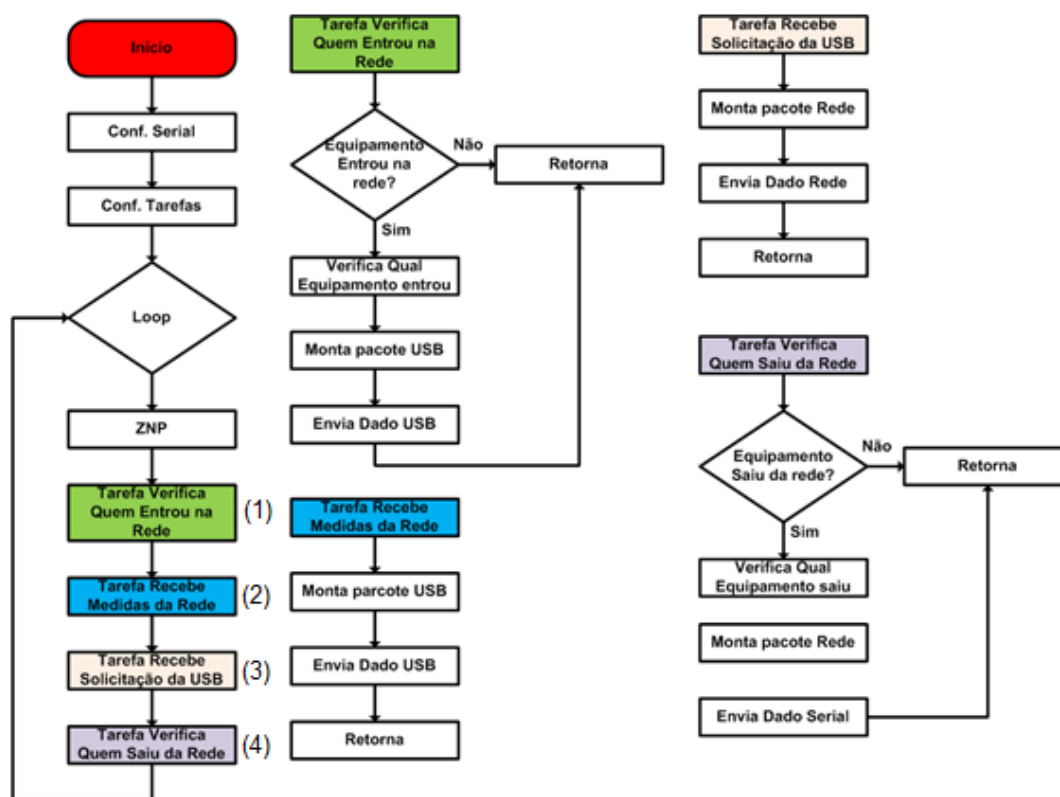


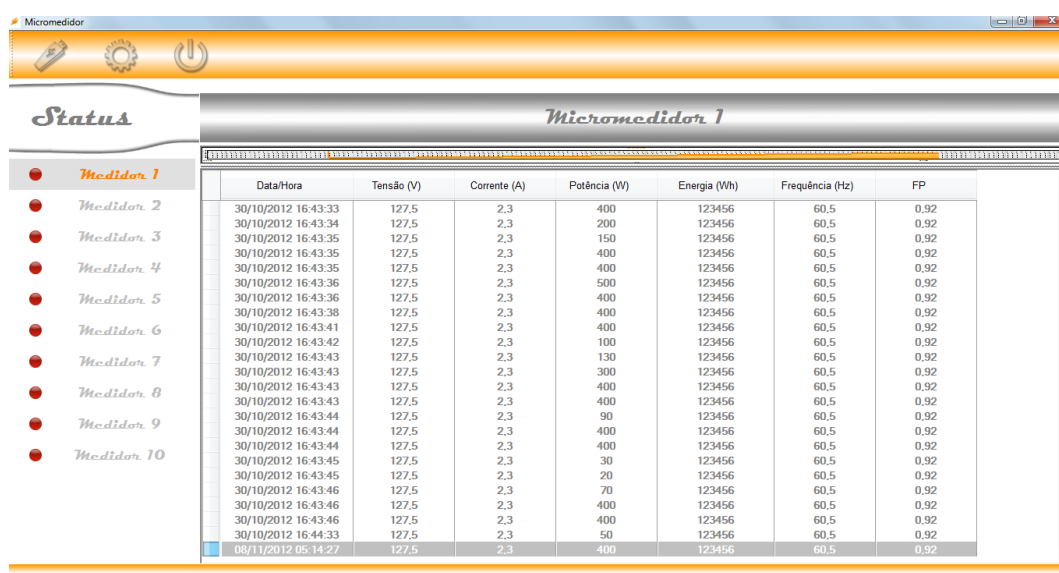
FIGURA 17 – FLUXOGRAMA DO COORDENADOR
FONTE: A autora (2012)

Para fazer *interface* como o usuário foi utilizado um *notebook* com as seguintes configurações: processador Intel Core i5, 1GB de memória RAM, saída USB e HD de 500GB, no qual se executava um programa para monitoramento das medições realizadas por cada micromedidor inteligente de energia.

O programa foi desenvolvido em C# e apresenta as seguintes funções:

- Apresentar e armazenar valores medidos pelos micromedidores inteligentes;
- Solicitar a cada período de tempo as medidas para os micromedidores inteligentes, de acordo com o protocolo de medição de energia elétrica.

Nesse *software*, FIGURA 18, podem-se verificar as medidas de cada micromedidor inteligente no momento. As medidas vão sendo atualizadas a cada período de te medição. O usuário pode verificar qual micromedidor inteligente está ativo através da cor do sinalizador ao lado do número do equipamento. A cor vermelha indica que o equipamento não está na rede e verde significa que está na rede e está fornecendo as medidas perfeitamente.



The screenshot shows the 'Micromedidor' software interface. On the left, there is a 'Status' panel with a list of 10 meters (Medidor 1 to Medidor 10), each with a red dot indicating it is not in the network. The main panel, titled 'Micromedidor 1', displays a table of measurements for the selected meter. The table has columns for Date/Time, Voltage (V), Current (A), Power (W), Energy (Wh), Frequency (Hz), and Power Factor (FP). The data shows measurements for 30/10/2012 and 08/11/2012.

Data/Hora	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia (Wh)	Frequência (Hz)	FP
30/10/2012 16:43:33	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:34	127,5	2,3	200	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:35	127,5	2,3	150	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:35	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:35	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:36	127,5	2,3	500	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:36	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:38	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:41	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:42	127,5	2,3	100	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:43	127,5	2,3	130	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:43	127,5	2,3	300	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:43	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:43	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:44	127,5	2,3	90	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:44	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:44	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:45	127,5	2,3	30	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:45	127,5	2,3	20	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:46	127,5	2,3	70	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:46	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:43:46	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92
30/10/2012 16:44:33	127,5	2,3	50	123456	60,5	0,92
08/11/2012 05:14:27	127,5	2,3	400	123456	60,5	0,92

FIGURA 18 – TELA PRINCIPAL DO SISTEMA DE INTERFACE DO USUÁRIO
FONTE: A autora (2012)

Esse *software* identifica quem entrou e saiu na rede, mostra as medidas de cada micromedidor inteligente na tela, armazena essas medidas em um banco de

dados, solicita as medidas a cada período de medição para os micromedidores. O relógio é ajustado pelo relógio do *notebook*, por isso pode-se dizer que é esse *software* que faz a sincronização de todo o sistema.

4.5 ESTRATÉGIA DE MONITORAMENTO E LEVANTAMENTO DE PERFIL DE CARGA

Para os testes de validação dos micromedidores inteligentes em primeiro lugar foi escolhida uma residência onde os ocupantes estavam dispostos a participar dos testes necessários.

Em seguida foi aplicada uma pesquisa de posses e hábitos e assim foi definido quais as cargas deveriam ser monitoradas.

4.5.1 Pesquisa de posses e hábitos

Para se definir como os micromedidores inteligentes deveriam ser instalados foi realizado um questionário para o consumidor, sendo que a pesquisa utilizada é mesma usada pelo PROCEL e pode ser conferida no Anexo1.

Com essa pesquisa pode-se verificar as características elétricas da residência onde o sistema deve ser instalado, isso é importante para definir como deve ser o medidor da entrada. Outra informação importante é em relação a quantidade de pessoas na casa e seus hábitos, isso ajuda a definir onde devem estar os micromedidores inteligentes.

O que é mais importante determinar é quais e quantos aparelhos elétricos estão na casa, sabendo desses equipamentos e dos hábitos dos residentes da casa pode-se determinar com mais tranquilidade onde devem estar os micromedidores.

Para definir quais seriam os equipamentos envolvidos foi levado em questão em primeiro lugar se a residência possui chuveiro elétrico, em caso afirmativo esse seria o primeiro equipamento a ter um micromedidor inteligente.

Como a casa possui aquecimento a gás, passou-se para o equipamento de maior potência. Em geral, simples tomadas podem alimentar vários equipamentos por isso foi analisado onde isso ocorria. Dessa forma três micromedidores inteligentes foram instalados em: sala de estar, escritório e sala de computador. Em seguida foi analisado cada equipamento e verificado qual tinha o maior consumo e que poderia ser desligado sem problemas para o consumidor. Assim foram escolhidos: micro-ondas, máquina de lavar roupas e máquina de secar roupas. Foi colocado também um micromedidor inteligente no freezer. Este eletrodoméstico não pode ser desligados, mas pode ser observado seu consumo e sugerido a troca por outro equipamento de maior eficiência.

4.5.2 Esquema de monitoramento

O sistema de coleta de dados e controle de energia residencial montado para esse trabalho está representado na **FIGURA 19:**

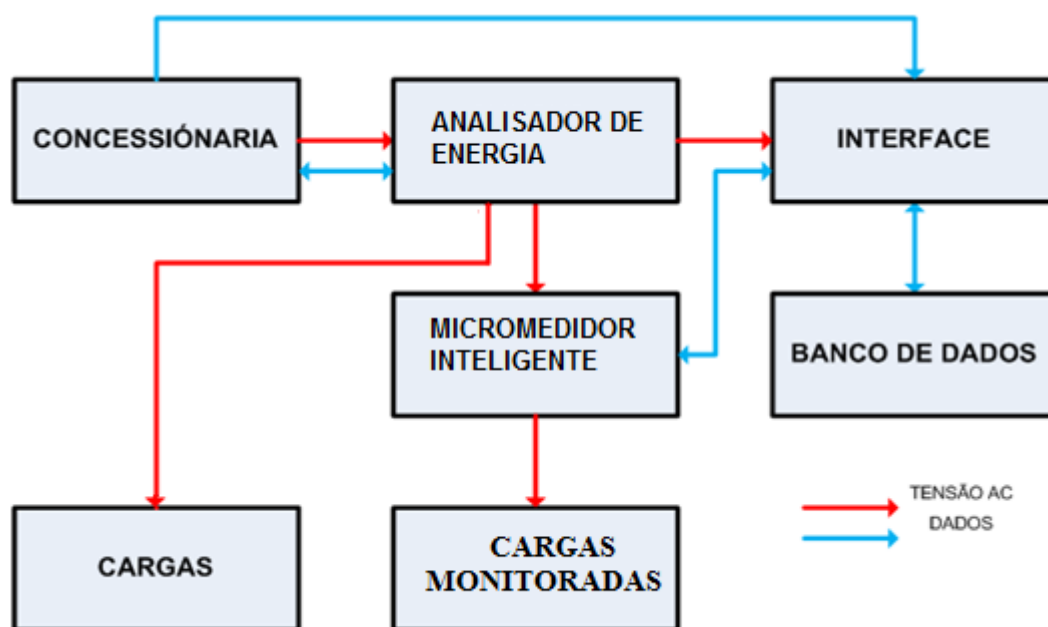


FIGURA 19 – MONTAGEM DO MONITORAMENTO DE ENERGIA
FONTE: A autora (2012)

Como não havia um medidor inteligente disponível para instalação na residência, foi usado um analisador de energia potência MARH-21 com seguintes características, RMS (2009):

- Fabricante: RMS Sistemas Eletrônicos – Brasil;
- 128 amostras por ciclo;
- Período de integralização de 10 minutos;
- Memória de 4 Mb;
- Tensão alimentação 70 V a 600 V;
- Frequência de 50 Hz ou 60 Hz;
- Exatidão de Classe 0,5 para tensões e correntes e classe 1 para potências.

O MARH-21 foi conectado na entrada da residência com pontas para a tensão e alicates para a corrente, o que facilitou sua instalação quando comparado a instalação de um medidor inteligente que exigiria interrupção do circuito. Sua programação foi realizada de tal forma que as medidas de tensão, corrente, potências e outros dados são realizadas, integralizadas a cada período e armazenadas na memória de massa do equipamento.

A residência monitorada durante os testes foi uma casa de padrão de entrada trifásica de 50 A por fase. Possui três quartos, três salas, cozinha, dois escritórios e dois banheiros. Com total de 175m² de área construída. A família residente é composta de dois adultos, duas adolescente e uma empregada. Essa família terá suas características estudadas no capítulo 5. A FIGURA 20 mostra um diagrama elétrico simplificado da residência.

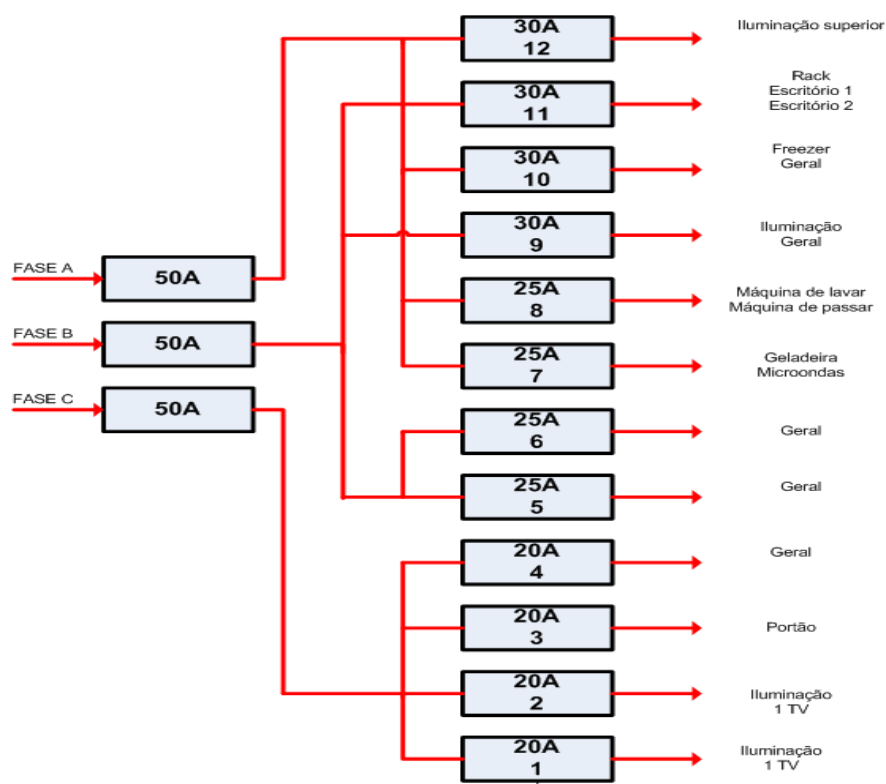


FIGURA 20 – DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO DA RESIDÊNCIA
FONTE: A autora (2012)

As cargas monitoradas estão definidas na TABELA 2:

TABELA 2 – CARGAS MONITORADAS

Carga	Equipamentos
Escritório – Equipamentos de informática	- 1 monitor - 2 impressoras - 1 computador - 1 scanner.
Freezer	Freezer
Sala de computador – Equipamentos de informática	- 1 monitor - 2 monitores
Sala de estar	- 1 Tv Samsung 1080P – Full HD - 1 Xbox 360 - 1 receptor NET - 1 aparelho Blu-Ray – Samsung - 1 receptor Akay AA-A35
Micro-ondas	Micro-ondas
Lava-roupas	Máquina de lavar roupas

FONTE – A autora (2012)

O esquema montado foi definido de acordo com conceito de rede elétrica inteligente, para tanto foi escolhida uma configuração onde o medidor permanece fora da rede de comunicação da residência. Esse medidor serve apenas para verificar qual o consumo geral da casa e quanto o consumo de cada carga impacta no consumo total.

Para que as medidas do medidor de qualidade de energia e as dos micromedidores inteligentes fossem comparadas era necessário ter um sincronismo entre esses equipamentos. Se todos os equipamentos estivessem na mesma rede de comunicação isso seria simples, mas como o medidor está trabalhando sozinho a forma escolhida de manter o sincronismo necessário foi trabalhar com o horário do *notebook* usado como sistema de *interface* com usuário. Foi com esse *notebook* que as configurações do medidor de qualidade foram realizadas e dessa forma o medidor teve sua hora acertada conforme a hora do computador. Assim, o sistema foi pensado de forma que o *notebook* solicite a cada período de tempo as medidas para todos os micromedidores inteligentes. Assim, têm-se medidas que podem ser comparadas.

O *notebook* solicita um pacote de medida a cada 10 minutos em conjunto com todos os demais equipamentos de medição. Os micromedidores inteligentes enviarão as seguintes medidas: tensão, corrente, potência, energia acumulada, frequência e fator de potência daquele momento. Esses valores chegam ao *notebook* e são armazenados em um banco de dados juntamente com o horário de solicitação desses valores. De posse desses dados é possível traçar um perfil de consumo daquela tomada ou equipamento, bem como podem ser tomadas algumas ações de gerenciamento pelo lado da demanda.

O *notebook* foi utilizado apenas nessa etapa, a ideia era ter uma forma de acompanhar o que estava acontecendo em cada micromedidor inteligente. O *notebook* tem todos os dados armazenados e um sistema de *interface* com gráficos para que possam ser acompanhados os valores medidos em cada equipamento. Na etapa de validação das ações de controle de gerenciamento pelo lado da demanda, não é necessário o *notebook*, pois os micromedidores inteligentes devem trabalhar de forma isolada com comunicação apenas com a concessionária para receber o valor da tarifa.

Deve ficar claro que o sistema foi pensado para trabalhar apenas com os micromedidores e o medidor inteligente, mas isso não impede de ter um equipamento onde o usuário possa acessar tudo o que está acontecendo e possa controlar todas as tomadas independente do que foi programado em cada micromedidor, como foi feito na etapa de coleta de dados.

Primeiramente, o proposto é desligar o equipamento quando este estiver em *stand-by*. Para isso, de posse do perfil de consumo desse equipamento é possível saber quando ele entra em modo *stand-by* e qual o horário que isso normalmente ocorre. Nesse caso, desliga-se o equipamento e novamente o mesmo é ligado nos horários com histórico de utilização pelo usuário. Isso pode ser bem exemplificado através da carga definida como sala de estar, essa tomada geralmente possui cinco equipamentos conectados e todos tem um consumo de *stand-by* quando desligado. Calcula-se que o consumo de *stand-by* alcance um valor considerável e se contabilizado em todos os aparelhos da residência seja em torno de 10% do consumo total de energia.

Mesmo tendo histórico de consumo o usuário pode ter sua rotina modificada, nesses casos o equipamento pode ser ligado sem problemas, bastando para isso apertar uma tecla no micromedidor.

Outro papel importante desse sistema é avisar ao usuário de uma forma simples quais são os horários interessantes para se ligar um eletrodoméstico. Com o preço diferenciado da tarifa equipamentos como a máquina de lavar, secar, computadores e micro-ondas podem ter seu funcionamento deslocado para o período de tarifa reduzida. Para tanto, o micromedidor inteligente irá desenergizar a carga no período de pico (tarifa alta). Como no caso do *stand-by*, o usuário pode ligar o equipamento sem problemas, mas um sinal visual vai ser dado para indicar que aquele é um momento de tarifa alta.

Caso o usuário queira acompanhar o que acontece com suas cargas ele pode usar um *notebook* qualquer juntamente com um módulo *ZigBee/USB* e o sistema de *interface*. Dessa forma pode solicitar as medições e caso queira pode desligar e ligar a carga automaticamente.

Isso se torna interessante em caso de viagem, quando o usuário deseja desligar apenas algumas cargas por períodos longos, outro caso interessante é verificar o consumo de equipamentos como geladeira e freezer. Esses equipamentos quando antigos podem ter um consumo ineficiente e isso pode ser um ponto observado pelo usuário quando tiver a oportunidade de trocar algum eletrodoméstico em sua residência.

4.6 DESENVOLVIMENTO DA OTIMIZAÇÃO DE DSM

O algoritmo de controle de DSM, com fluxograma na FIGURA 21, tem como principais objetivos:

- cortar consumo de *stand-by*;
- otimização do corte de carga devido à tarifa.

Primeiramente são carregadas as medidas de uma semana e com esses dados o algoritmo identifica o stand-by através do limiar ou por horário e isso é válido para todos os dias da semana. Depois é realizado agendamento do corte devido à tarifa, isso é feito apenas para dias úteis e leva em conta o valor da tarifa informada pela concessionária.

Para validação do algoritmo são carregadas as medidas do mês inteiro e então realizadas simulações e gerados gráficos.

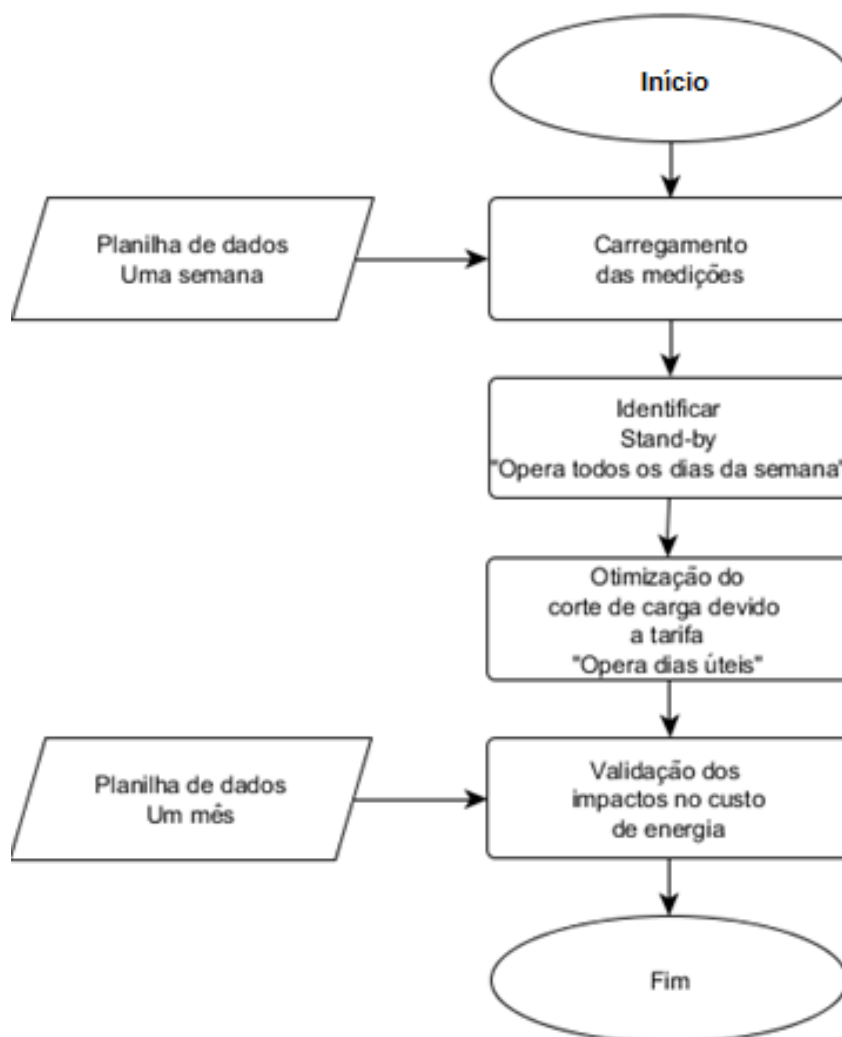


FIGURA 21 – ALGORITMO DE CONTROLE DO DSM
FONTE: A autora (2012)

4.6.1 Consumo de *stand-by*

Nessa modalidade o usuário pode escolher entre quatro modos:

- sem corte por *stand-by*;
- corte programado de *stand-by*;
- corte automático de *stand-by* por limiar;
- corte automático de *stand-by* por horário, nesse caso precisa de um equipamento extra de controle como no *notebook*.

Na primeira modalidade sem corte por *stand-by*, nunca carga será desligada pelo micromedidor inteligente. Nesse caso mais acertado seria não colocar micromedidor na carga.

No corte programado de *stand-by* o usuário pode escolher o horário que deseja desligar o micromedidor inteligente. Essa é uma solução interessante e rápida e pode ser usada, por exemplo, durante a madrugada. Nesse horário a maioria dos equipamentos não é usada e por isso pode ser desligada.

O usuário deve escolher o período que deseja que os equipamentos sejam desligados e depois desse período os equipamentos são ligados automaticamente.

Como já explicado, nesse caso é preciso um equipamento de controle como o *notebook* com o sistema de *interface* com usuário para poder fazer essa parametrização do controle.

Na opção de corte automático de *stand-by* o algoritmo identifica automaticamente qual é o valor de *stand-by* (limiar) e sempre que o micromedidor inteligente medir abaixo desse valor a carga é desligada. Para voltar a ligar o usuário deve ligá-lo manualmente ou aguardar até o agendamento de religamento automático da carga.

Para identificar o *stand-by* uma tabela de medidas de um período de uma semana deve ser carregada. Essa tabela contém as medidas de uma semana de cada micromedidor contabilizadas a cada 10 minutos.

O fluxograma da FIGURA 22 mostra como o limiar é identificado. Em primeiro lugar é dividido a maior medida pela menor, caso essa razão seja menor que dois considera-se que não há limiar. Isso quer dizer que deve ser uma carga constate que nunca é desligada e nesse caso não adianta verificar o *stand-by* porque provavelmente é o desejo do usuário que essa carga fica ligada.

Depois disso todo o intervalo de medida entre a menor e a maior medida é dividido em 10 intervalos da magnitude dos valores medidos. Poderiam ser em outros valores de períodos, mas isso foi adotado por ser um valor que atende as necessidades do projeto. Todas as medidas são classificadas em um desses intervalos. Com as medidas classificadas nos intervalos é feito um processo de

cálculo de somatório acumulativo do menor para o maior intervalo. Quando este somatório ultrapassa 252 medições (25% do total de medições numa semana) o maior valor do último intervalo somado é considerado o valor de limiar do *stand-by* adotado.

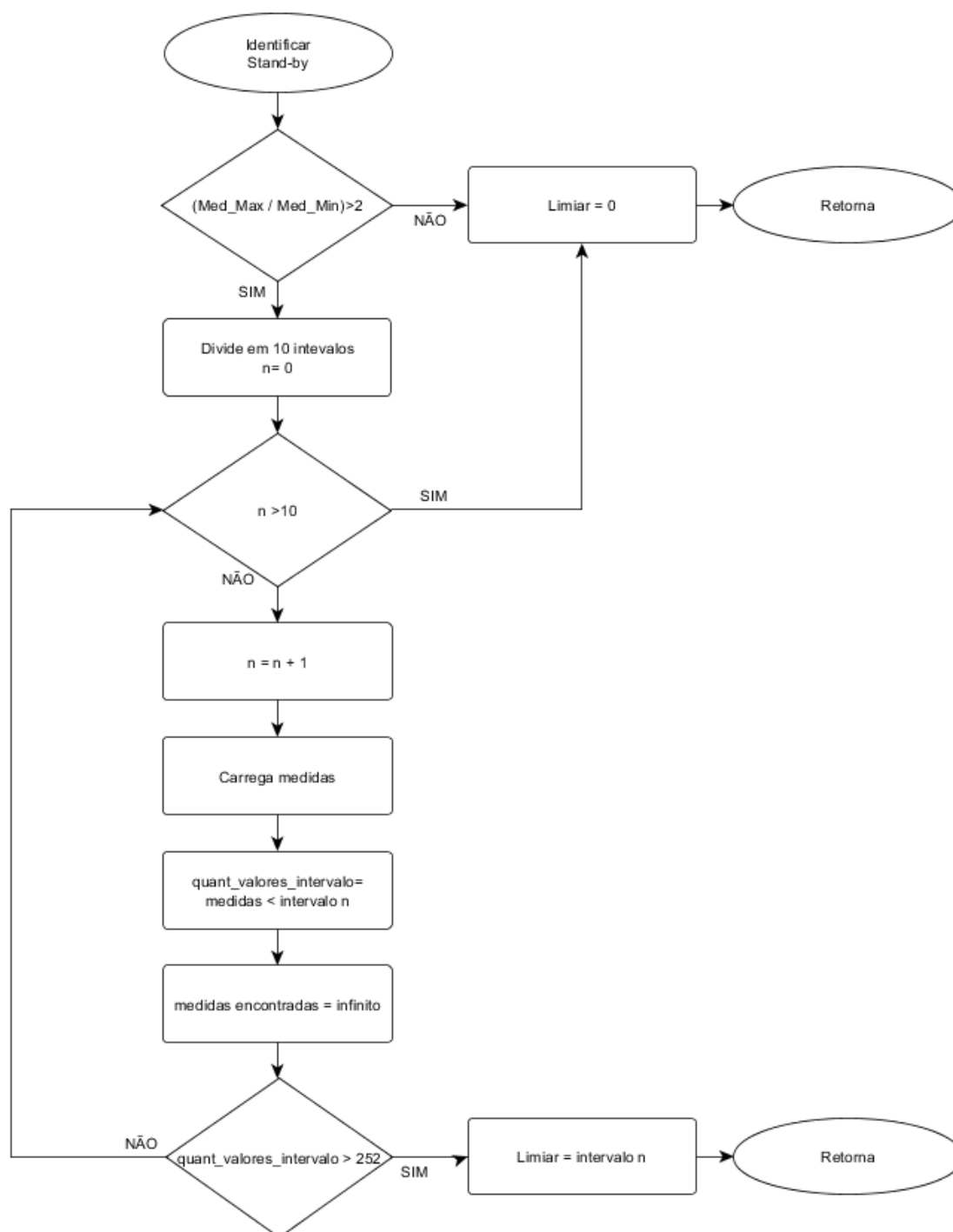


FIGURA 22 – FLUXOGRAMA DO CORTE DE *STAND-BY* POR LIMIAR
FONTE: A autora (2012)

Na opção automática de *stand-by* o algoritmo identifica de forma automática os horários da semana em que o equipamento fica em *stand-by* e sempre que chegar esse horário o micromedidor inteligente é desligado. Depois que passar o período identificado a carga será ligada automaticamente.

É usado o algoritmo do limiar da FIGURA 22, depois os valores menores que o limiar são zerados e valores maiores são substituídos por um. Cria-se uma nova matriz que é separada por dia e depois é feita uma lógica OR com esses valores. Assim o vetor resultante tem o horário quando devem ser desligados os micromedidores inteligentes. Esse procedimento pode ser visto no fluxograma da FIGURA 23.

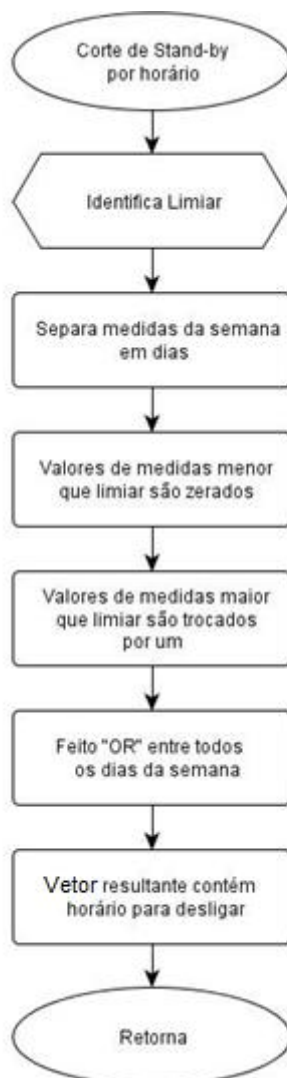


FIGURA 23 – CORTE DE STAND-BY POR HORÁRIO
FONTE: A autora (2012)

Na otimização do corte de carga devido à tarifa, a concessionária deve enviar a tarifa branca. Essa tarifa é transformada em vetor onde os horários de ponta são substituídos por “zero” e os outros por “um”. O vetor tarifa será formado por 144 valores, isso porque a demanda é controlada por períodos de 10 minutos, e durante um dia tem-se 144 posições (6x24) no vetor.

Os dados da semana são carregados e com esses dados é calculado o fator de carga da residência, utilizando-se a demanda média e demanda máxima:

$$FC = \frac{D_{med}}{D_{max}} \quad (1)$$

Depois deve ser calculado o fator de carga instantâneo para cada medida:

$$FC_{instantaneo} = \frac{medida}{D_{max}} \quad (2)$$

Em seguida é gerada uma matriz com todos os fatores de carga da semana, onde cada coluna significa fatores de carga de um dia. Essa matriz é transformada em lógica binária, onde caso fator de carga instantâneo seja maior que o fator de carga geral é colocado “zero” na posição do vetor, caso contrário é substituído por “um”.

Depois é aplicada uma lógica OU entre todas as colunas da matriz gerada. O resultado é transposto e novamente é aplicada uma lógica OU com o vetor de tarifa gerado no começo do programa.

O vetor resultante é composto por zeros e uns, onde se encontram os zeros são os instantes declarados como possíveis de serem desligados. Isso tem como objetivo contribuir para se obter uma curva de carga mais plana.

Nota-se que é nesse momento que o controle pelo lado da demanda é executado, quando manda o valor da tarifa a concessionária está contribuindo para que o usuário desligue sua carga. Esse funcionamento pode ser verificado no fluxograma da FIGURA 24.

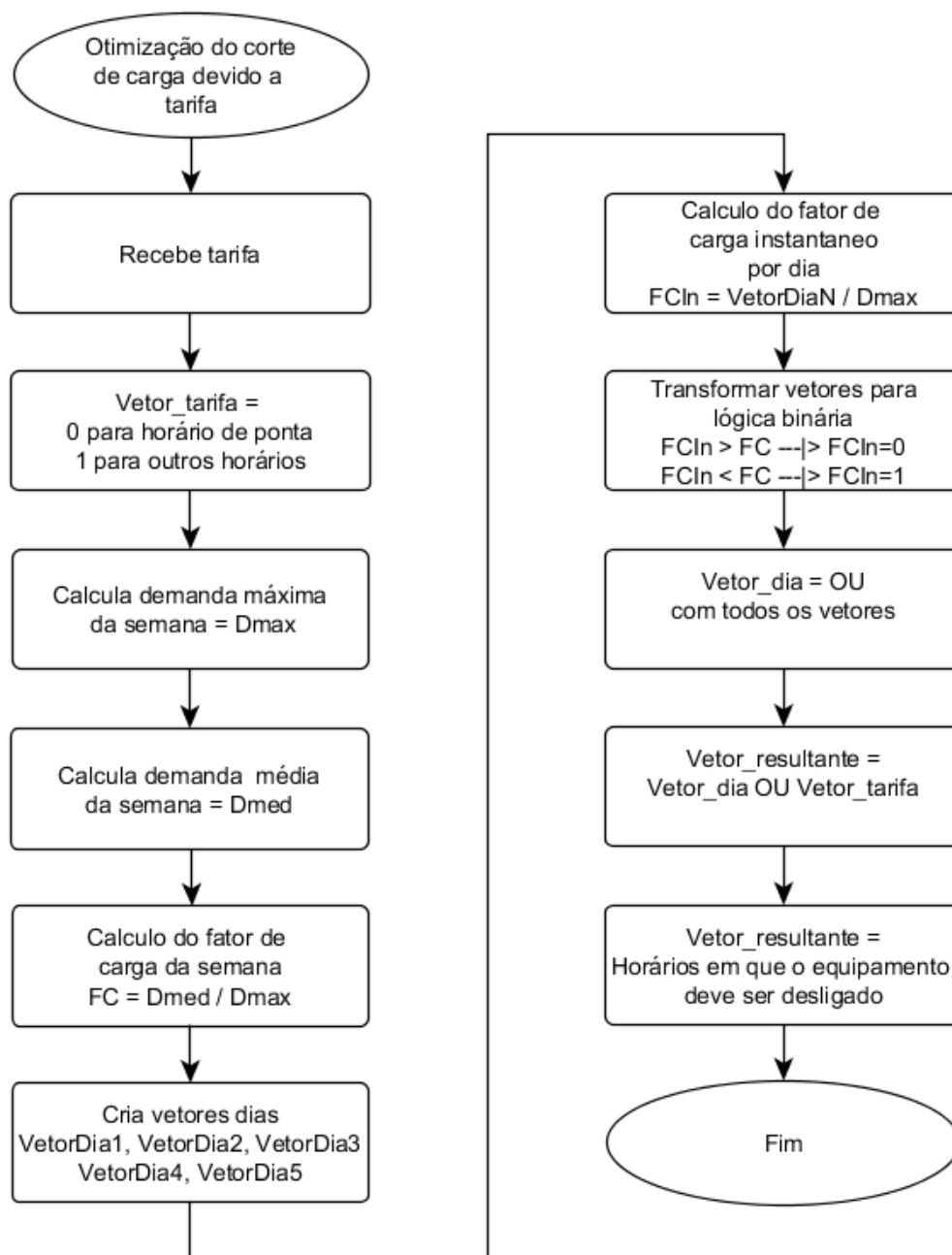


FIGURA 24 – OTIMIZAÇÃO DO CORTE DE CARGA DEVIDO A TARIFA
 FONTE: A autora (2012)

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Nesse capítulo foram mostrados todos os materiais necessários para a montagem do sistema: medidor inteligente, micromedidor inteligente, o *notebook* e *softwares* necessários. Nesse caso o *notebook* funciona como o gerenciador dos micromedidores inteligentes.

Foram definidos os métodos utilizados para o desenvolvimento desse trabalho, dentre os quais está o desenvolvimento do micromedidor inteligente com hardware e *software*, pesquisa de posses e hábitos e o algoritmo de otimização de gerenciamento pelo lado da demanda.

No algoritmo de otimização de gerenciamento pelo lado da demanda são feitos controles através de corte por *stand-by* e otimização devido à tarifa. Esse algoritmo foi desenvolvido para ser programado dentro de cada micromedidor inteligente, dessa forma o sistema funciona de forma descentralizada. Isso foi feito para deixar o sistema mais simples e mais barato.

CAPÍTULO 5: SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados e simulações obtidas com o desenvolvimento do presente trabalho. Em primeiro lugar é mostrado a análise da pesquisa de posses e hábitos, então são mostrados as medidas coletadas durante o período de instalação dos micromedidores inteligentes e em seguida os gráficos com as simulações dos algoritmos de gerenciamento pelo lado da demanda.

No item 5.1 é feita a análise dos resultados da pesquisa de posses e hábitos realizada junto com a família, assim foram determinadas as cargas em que os micromedidores inteligentes foram instalados.

Os micromedidores inteligentes ficaram instalados por um mês na residência familiar coletando medições, com esses valores foi criado um banco de dados das cargas monitoradas. No item 5.2 são mostrados os gráficos com as curvas de carga de cada micromedidor inteligente.

Já o item 5.3 é calculado o consumo da residência usando o valor de tarifa simples e tarifa diferenciada. Esse cálculo é realizado para cada algoritmo de gerenciamento pelo lado da demanda: corte automático de stand-by por limiar e por horário e para o algoritmo de otimização do corte de carga devido à tarifa.

Ao final do capítulo, no item 5.4, são apresentadas as conclusões e uma tabela comparativa com todos os valores de consumo calculados no item 5.3.

5.1 ANÁLISE DA PESQUISA DE POSSES E HÁBITOS

Ao realizar a pesquisa de posses e hábitos (PPH) foram obtidas informações importantes sobre o uso da energia elétrica pela família e com isso determinado como e onde os micromedidores inteligentes seriam instalados.

Em primeiro lugar foi definido quais as características da instalação elétrica da residência: entrada de energia com padrão trifásico e valor de demanda total máxima. Depois foram verificadas todas as cargas possíveis de instalar o micromedidor.

A PPH foi necessária para definir em quais tomadas seriam utilizados cada micromedidor, pois a família possui cargas que tem grande consumo de energia, como ferro de passar roupas, secador de cabelo, chapinha de cabelo, entretanto, não podem ser monitoradas porque são utilizadas em vários locais da residência e seria difícil colocar um micromedidor fixo. Por isso ficou definida a instalação em seis cargas: sala de estar, escritório, sala de computador, freezer, micro-ondas e lava-roupas.

A família possui uma secadora de roupa, mas com a PPH foi possível verificar que esse equipamento quase não é utilizado durante o verão, por isso não foi realizado a monitoração da mesma.

Outra informação importante é referente às características elétricas de cada equipamento, com essas características pode-se determinar qual o valor máximo de corrente para medição e qual a curva de carga esperada.

A pergunta 3.6 da PPH se torna interessante para saber quais equipamentos podem ter seu consumo cortado durante o horário de ponta, os aparelhos são: micro-ondas e máquina de lavar roupas, sendo esta característica importante para o desenvolvimento de algoritmo de controle.

Outra informação importante foi referente aos hábitos de uso da energia elétrica da família, que foi utilizada como parâmetro para as medidas de cada equipamento e é importante para o algoritmo de controle.

5.2 MONITORAMENTO E LEVANTAMENTO DE CURVA DE CARGA

As medidas foram coletadas por um mês, mas as curvas aqui apresentadas são de uma semana da data de 05/11/2012 até 11/11/2012. Em primeiro lugar será mostrado o gráfico de energia para o medidor geral da entrada, com consumo total de 115 kWh na semana monitorada, FIGURA 25.

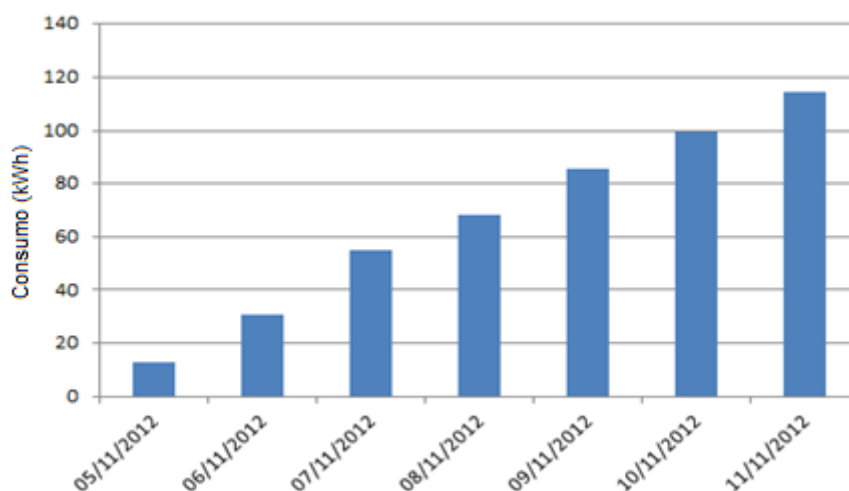


FIGURA 25 – CONSUMO ACUMULADO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA NO MEDIDOR

FONTE: A autora (2012)

As cargas que foram avaliadas estão definidas na ABELA 3.

ABELA 3 – CARGAS AVALIADAS NA PPH

Smart Plug	Cargas
SP1	Escritório – Equipamentos de informática - 1 monitor, 2 impressoras, 1 computador e um scanner.
SP2	Freezer
SP3	Sala de computador – Equipamentos de informática - 1 computador e dois monitores.
SP4	Sala de estar - 1 Tv Samsung 1080P – Full HD - 1 Xbox 360 - 1 receptor NET - 1 aparelho Blu-Ray – Samsung - 1 receptor Akay AA-A35
SP5	- Micro-ondas
SP6	- Lava-roupas

FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 26 corresponde ao consumo acumulado de energia em kWh durante uma semana para a carga Escritório. Com esse gráfico verifica-se que a carga é usada todo dia e o consumo total da semana é de 8 kWh.

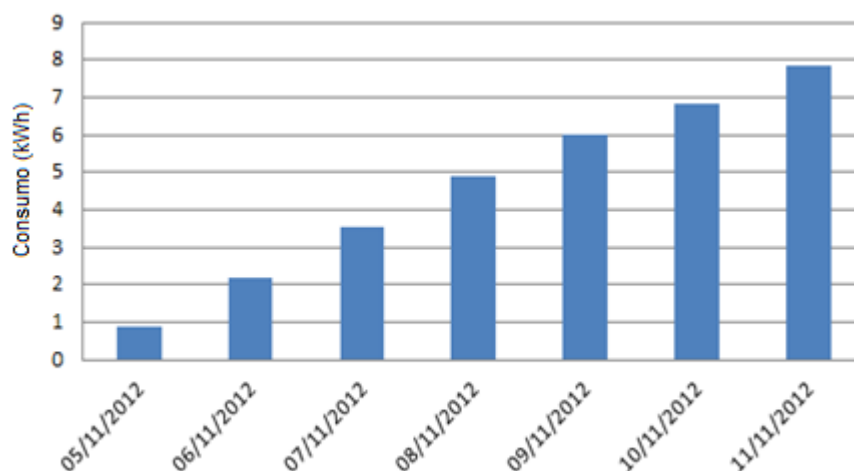


FIGURA 26 – CONSUMO DE ENERGIA EM kWH EM UMA SEMANA NA CARGA ESCRITÓRIO
FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 27 corresponde ao consumo acumulado de energia em kWh durante uma semana para a carga Freezer. Com esse gráfico verifica-se que a carga é usada todo dia e tem um incremento constante, algo que já era esperado para um freezer. O consumo total da semana é de 15 kWh.

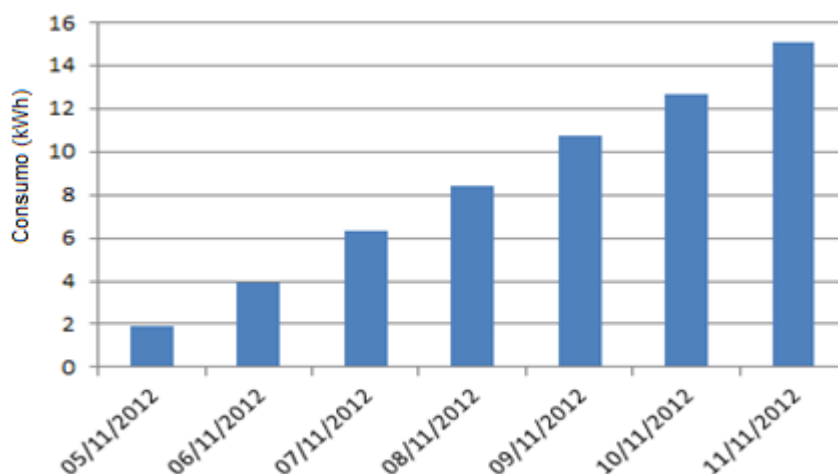


FIGURA 27 – CONSUMO DE ENERGIA EM kWH EM UMA SEMANA DA CARGA FREEZER
FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 28 corresponde ao consumo acumulado de energia em kWh durante uma semana para a carga Sala de computador. Com esse gráfico verifica-se que a carga não demonstra um comportamento constante. O consumo total da semana é de 6 kWh.

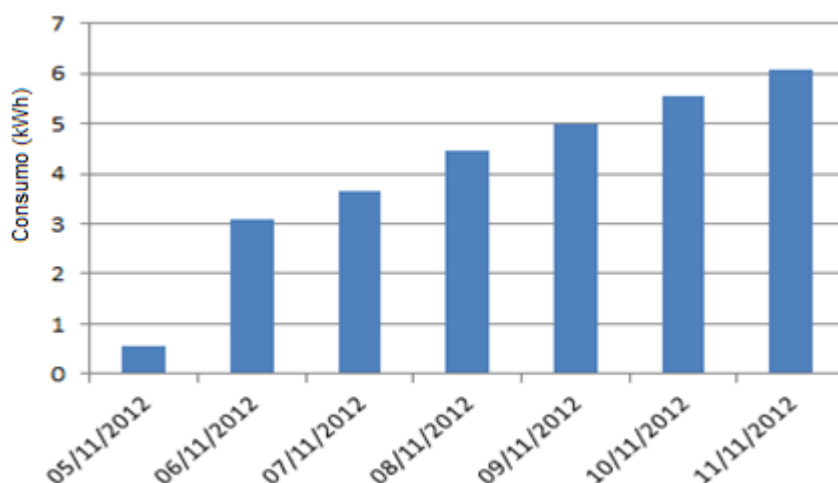


FIGURA 28 – CONSUMO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA DA CARGA SALA DE COMPUTADOR
 FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 29 corresponde ao consumo acumulado de energia em kWh durante uma semana para a carga sala de estar. Com esse gráfico verifica-se que a carga também não demonstra um comportamento constante. O consumo total da semana é de 6 kWh.

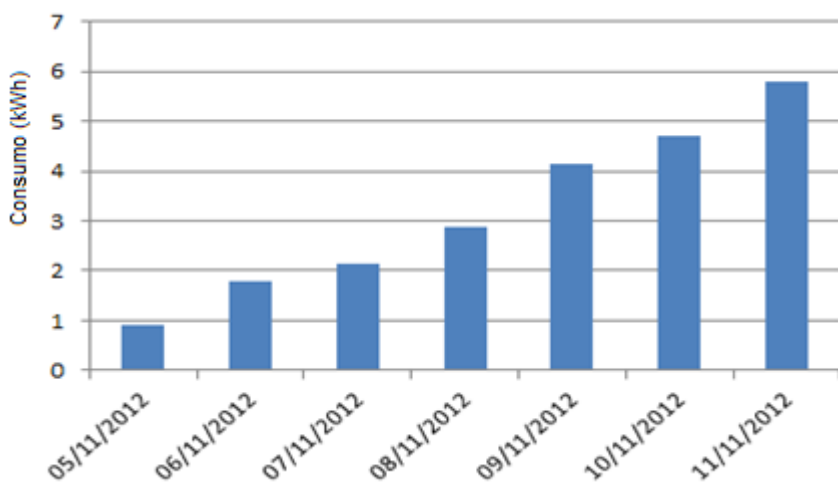


FIGURA 29 – CONSUMO DE ENERGIA EM KWH EM UMA SEMANA DA CARGA SALA DE ESTAR
 FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 30 corresponde ao consumo acumulado de energia em kWh durante uma semana para a carga Micro-ondas. Com esse gráfico verifica-se que a carga é usada por três dias durante a semana e seu consumo total da semana é de 2 kWh.

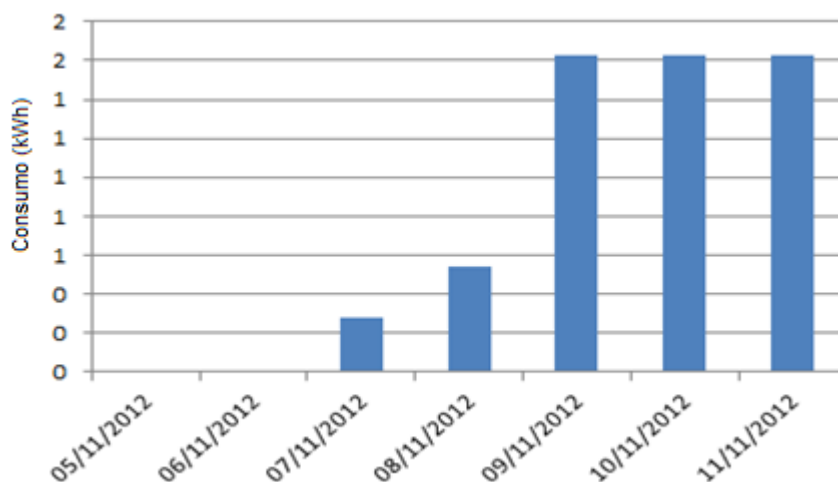


FIGURA 30 – CONSUMO DE ENERGIA EM kWh EM UMA SEMANA DA CARGA MICRO-ONDAS

FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 31 corresponde ao consumo acumulado de energia em kWh durante uma semana para a carga Lava-roupas. Com esse gráfico verifica-se que a carga é usada apenas dois dias e seu consumo total da semana é de 4 kWh.

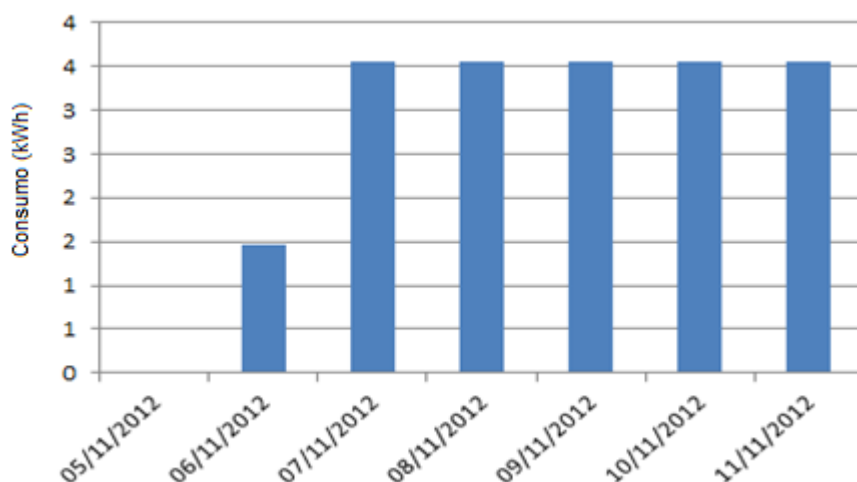


FIGURA 31 – CONSUMO DE ENERGIA EM kWh EM UMA SEMANA DA CARGA LAVA-ROUPAS

FONTE: A autora (2012)

Com esses gráficos pode-se obter o consumo de cada carga e o percentual no consumo total da casa (115 kWh). A TABELA 4 apresenta esses dados, na qual observa-se que as cargas com maior potencial de deslocamento de carga em horário de pico (escritório, sala de computador e sala de estar) atingem pouco mais de 17% do consumo total.

TABELA 4 – PERCENTUAL DE PARTICIPAÇÃO DO CONSUMO INDIVIDUAL DAS CARGAS MONITORADOS SOBRE A CARGA TOTAL

Cargas	Consumo kWh	Porcentagem em relação a carga total
Escritório	8	6,96
Freezer	15	13,04
Sala de computador	6	5,22
Sala de estar	6	5,22
Micro-ondas	2	1,74
Lava-roupas	4	3,48

FONTE: A autora (2012)

Na FIGURA 32 pode-se verificar o gráfico com a relação entre o consumo total da casa e consumo de cada micromedidor inteligente.

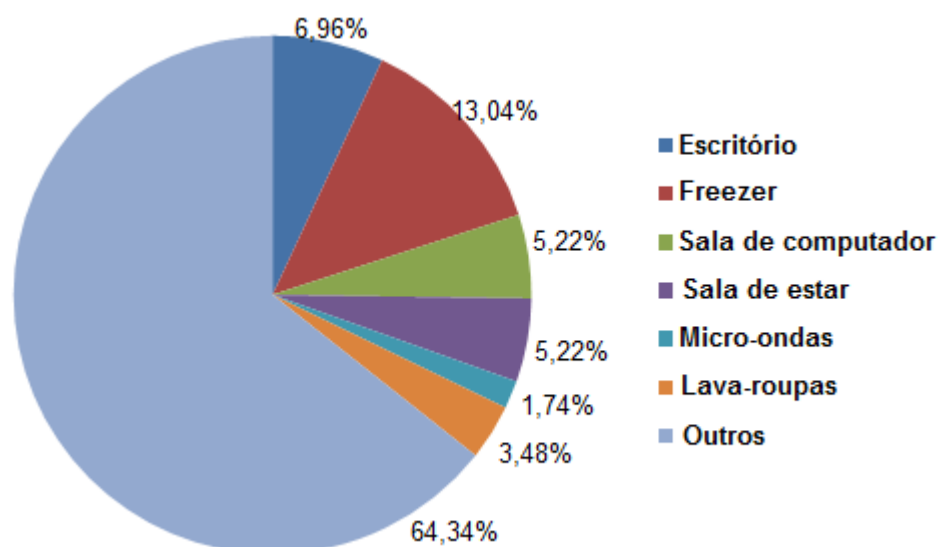


FIGURA 32 – PORCENTAGEM DE CONSUMO

FONTE: A autora (2012)

Nos gráficos 33 a 38 verificam-se as curvas de demanda a cada 10 minutos separadas por dias da semana para cada carga.

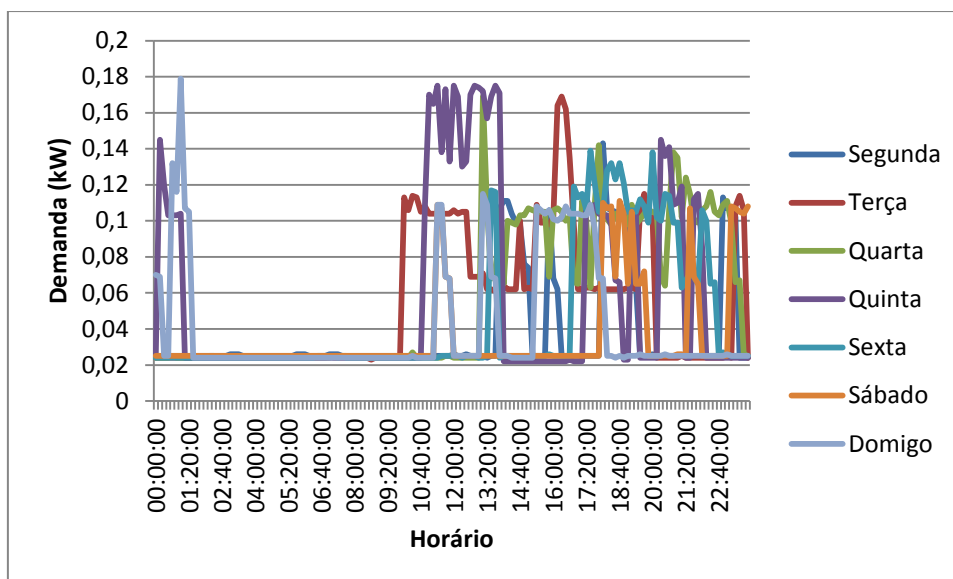


FIGURA 33 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DO ESCRITÓRIO
FONTE: A autora (2012)

A carga do escritório tem uma demanda de *stand-by* que pode ser cortada, a qual observando-se o gráfico da FIGURA 33 tem um horário bem definido entre 01:00 hora e 09:00 horas. Nesse horário o equipamento não tem utilização e poderia ser desligado causar desconforto para o consumidor.

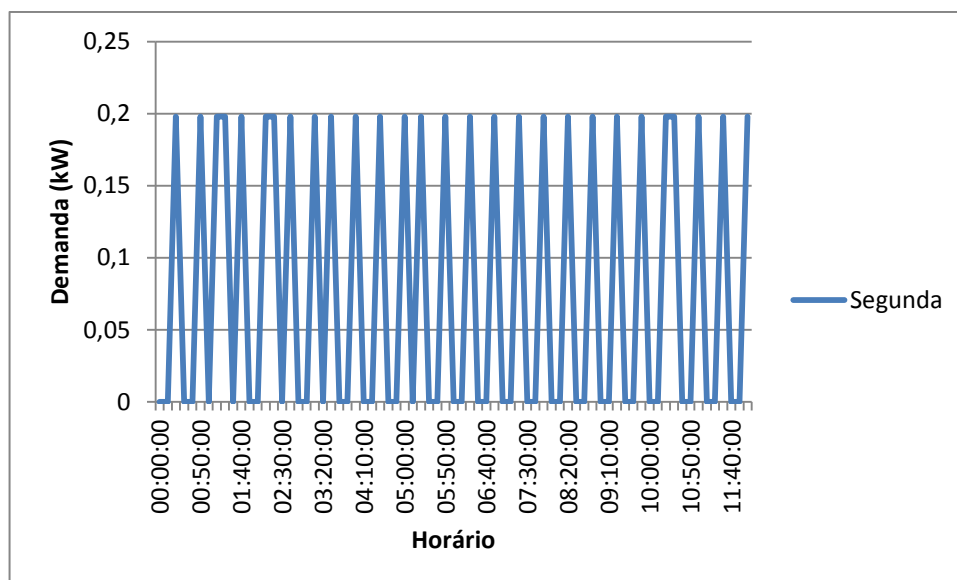


FIGURA 34 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DO FREEZER
FONTE: A autora (2012)

Na FIGURA 34 está o gráfico da carga do freezer durante 12 horas de um dia da semana. É uma carga que não pode ser desligada, o que pode ser feito é

levantar o consumo do equipamento e verificar se no mercado há um equipamento mais eficiente. Com cálculos apropriados pode-se verificar se o freezer está ultrapassado e se a compra de um novo equipamento será viável do ponto de vista econômico.

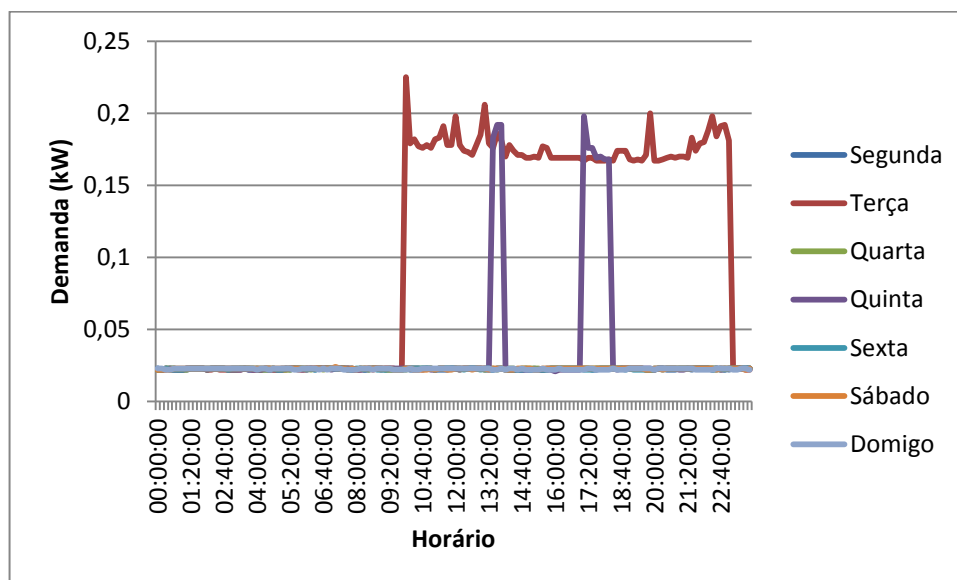


FIGURA 35 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DA SALA DE COMPUTADOR
FONTE: A autora (2012)

A carga da sala de computador tem um consumo de *stand-by* que pode ser cortado, pois quando se observa o gráfico da FIGURA 35 verifica-se que há um horário bem definido entre 00:00 horas e 09:00 horas da manhã. Porém conversando com o proprietário essa carga é de monitoramento interno (sistema de segurança) da residência e não deve ser desligada nunca.

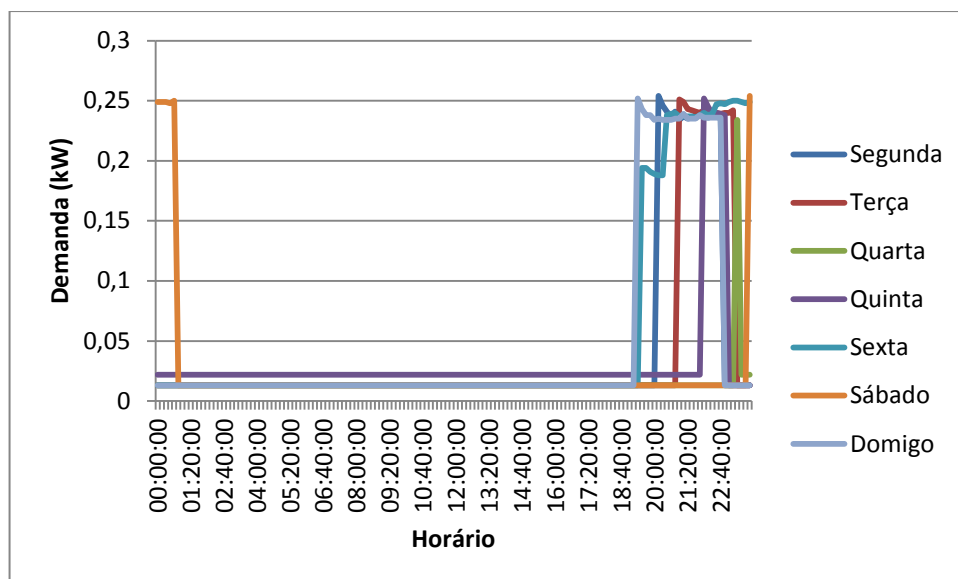


FIGURA 36 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DA SALA DE ESTAR
FONTE: A autora (2012)

A carga da sala de estar tem um consumo de *stand-by* que pode ser cortado, pois observando-se o gráfico da FIGURA 36 tem-se um horário bem definido entre 01:00 hora e 18:40 horas. Nesse horário os equipamentos da sala não tem utilização e poderiam ser desligados sem causar desconforto ao consumidor.

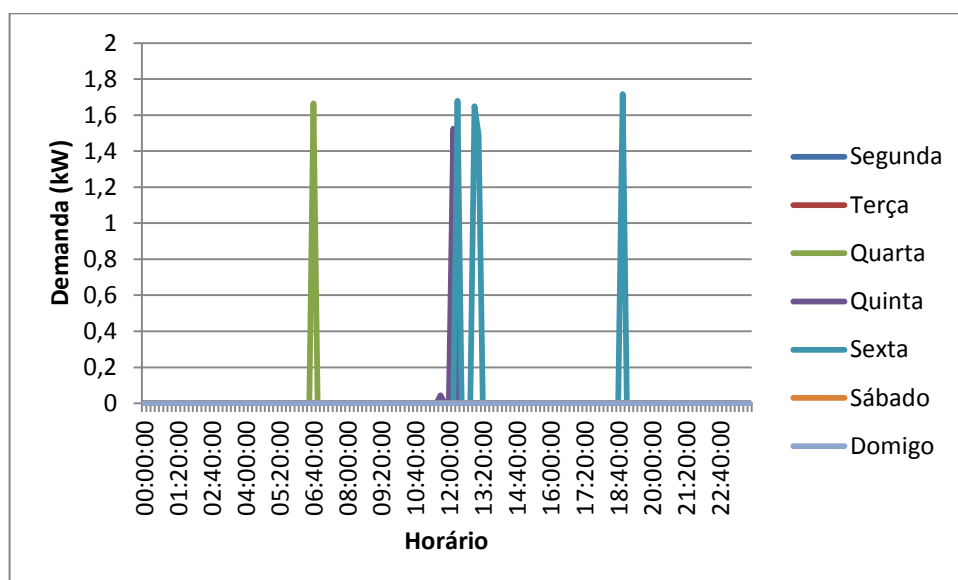


FIGURA 37 – CURVA DE DEMANDA (Kw) DO MICRO-ONDAS
FONTE: A autora (2012)

O micro-ondas, gráfico da FIGURA 37, é uma carga de comportamento interessante para se trabalhar. Pode-se dividir o consumo em dois períodos: manhã, horário do almoço e noite. Durante a manhã e horário de almoço pode-se sugerir a diminuição do consumo, mas nesse caso não terá diferença na tarifa em relação à tarifa simples ou branca. Durante a noite pode-se fazer um estudo sobre quanto o usuário pode economizar nessas duas tarifas.

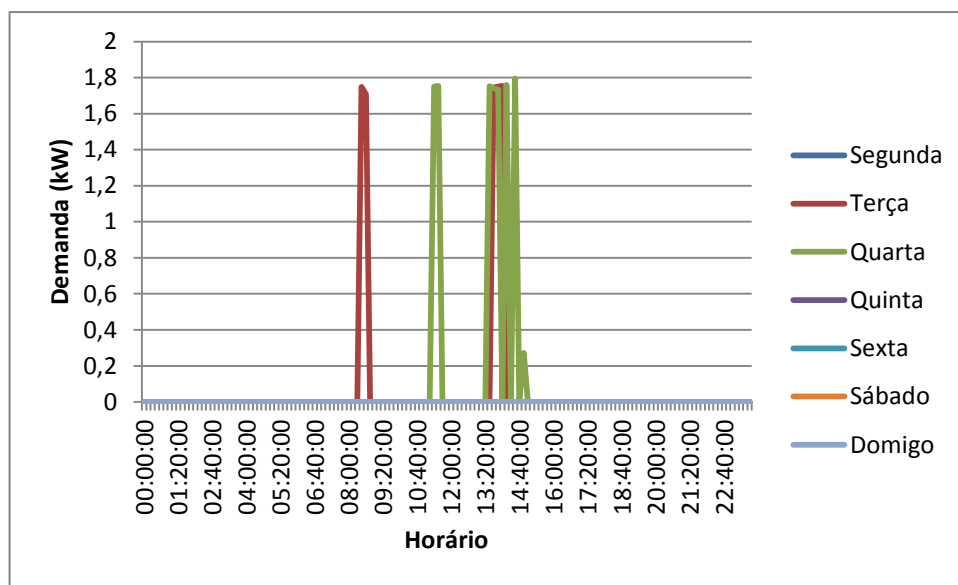


FIGURA 38 – CURVA DE DEMANDA (kW) DA LAVA-ROUPAS
 FONTE: A autora (2012)

A carga da lava roupas, gráfico da FIGURA 38, pode ser tratada de forma diferente, nesse caso o consumo não ocorre em horário de ponta e por isso não adianta sugerir a troca de horário de funcionamento. A única coisa que pode ser vista nesse caso é se ao invés de usar a máquina por duas vezes durante a semana a família pode usar apenas uma. Isso pode ser feito verificando a quantidade de roupa que vai em cada lavagem, pois a máquina estando cheia ou não gasta o mesmo valor de energia, então é melhor acumular o máximo de roupa e ligar a máquina apenas com quantidade máxima.

5.3 OTIMIZAÇÃO POR GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

Em primeiro lugar foi calculado o custo de consumo com a tarifa convencional e tarifa branca. A tabela TABELA 5 apresenta os valores adotados, que foram baseados em Kamada *et al.* (2011):

TABELA 5 – TARIFAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE

Tarifa	Valor R\$/MWh
Tarifa convencional – TC	300,00
Tarifa fora de ponta – TFP	240,00
Tarifa intermediária – TIN	720,00
Tarifa ponta - TPO	1200,00

FONTE: A autora (2013)

Os valores de demanda foram medidos por um medidor instalado na entrada da residência em kW com período de integração da medição a cada 10 minutos. A FIGURA 39 demonstra a demanda medida por mês (05/11/2012 até 11/11/2012) na residência.

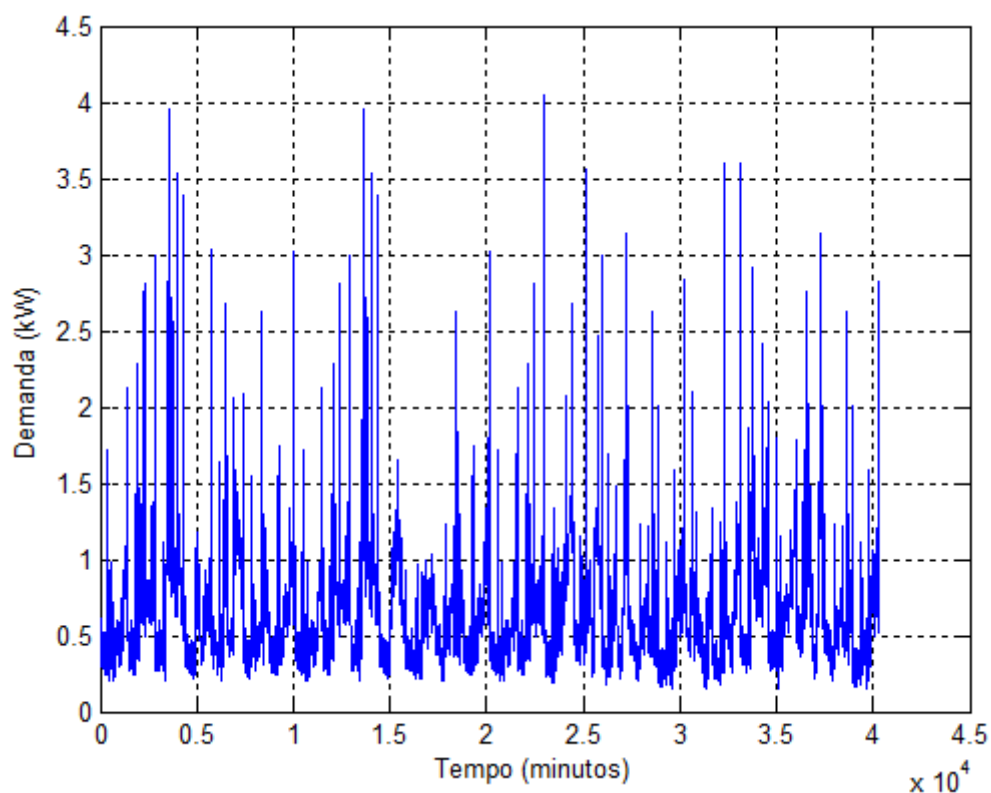


FIGURA 39 – MEDIDA DE DEMANDA MENSAL

FONTE: A autora (2012)

No primeiro momento foi calculado o valor de energia medido durante o mês sem controle dos micromedidores inteligentes, E_T :

$$E_T(t) = \int_{t_0}^{t_1} p(t)dt = 447,01kWh \quad (1)$$

Depois foi calculado o valor do custo da energia por um mês (C_{T1}), com o valor da tarifa convencional de 0,3 [R\$/kWh], que é o mesmo valor para todas as horas e todos os dias.

$$C_{T1} = E_T \times T_c = 447,01 \times 0,3 = R\$134,10 \quad (2)$$

Logo em seguida foi calculado o valor do custo mensal (C_{T2}), levando em consideração o valor da tarifa branca. Não é objetivo desse trabalho a determinação do valor da tarifa, por isso foi considerado os valores retirados de Kamada *et al.* (2011) conforme FIGURA 40.

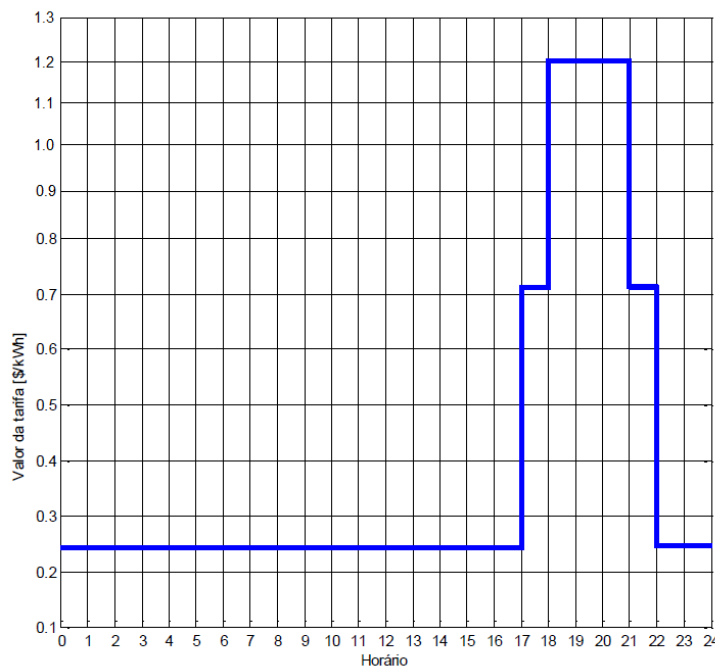


FIGURA 40 – VALOR DA TARIFA BRANCA
FONTE: Kamada et al. (2011)

$$C_{T2} = E_T \times T_{Branca} = R\$175,30 \quad (3)$$

Pode-se verificar um aumento do custo de 30,73% com a entrada da tarifa branca, sem adoção de estratégias de gerenciamento pelo lado da demanda.

5.3.1 Corte automático de *stand-by* por limiar

A FIGURA 41 apresenta gráfico para cada medidor original e ao lado o gráfico já com corte de *stand-by* por limiar. O método foi ajustado utilizando-se apenas uma semana de dados e simulado para os dados do mês todo, sendo que os gráficos abaixo contém o valor mensal da demanda.

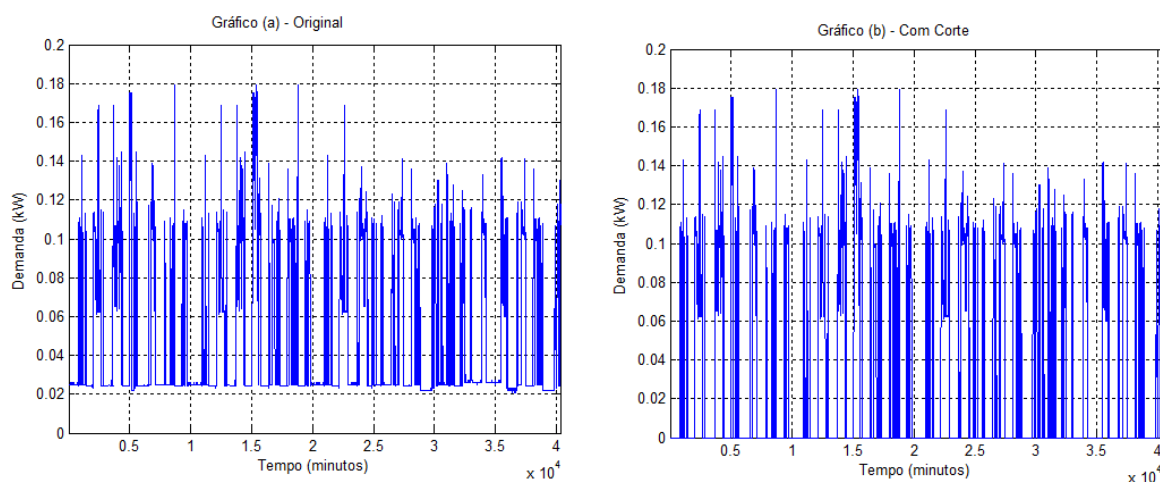


FIGURA 41 – GRAFICO SP1 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR LIMIAR
FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 41 contém o valor medido de demanda em kW do micromedidor SP1, que é referente a carga Escritório. Pode-se verificar no gráfico (a) um stand-by de 0,025kW, o qual foi totalmente cortado conforme gráfico (b).

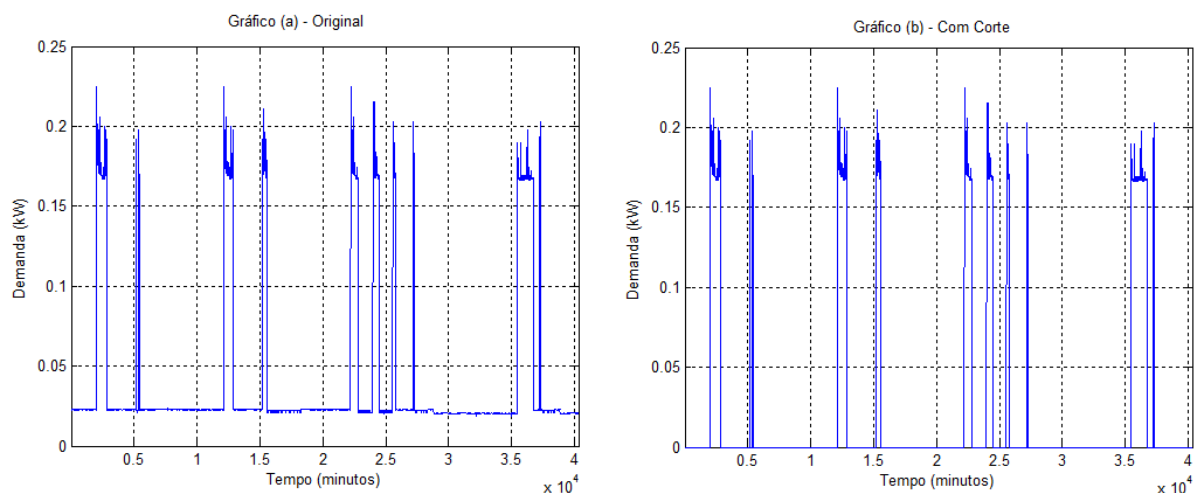


FIGURA 42- GRAFICO SP3 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR LIMIAR
FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 42 contém o valor medido de demanda em kW do micromedidor SP3, que é referente a carga Sala de computador. Pode-se verificar no gráfico (a) que essa carga contém um consumo de *stand-by* no valor de 0,025 kW. No gráfico (b) após utilizar o programa de corte verifica-se o corte total desse consumo.

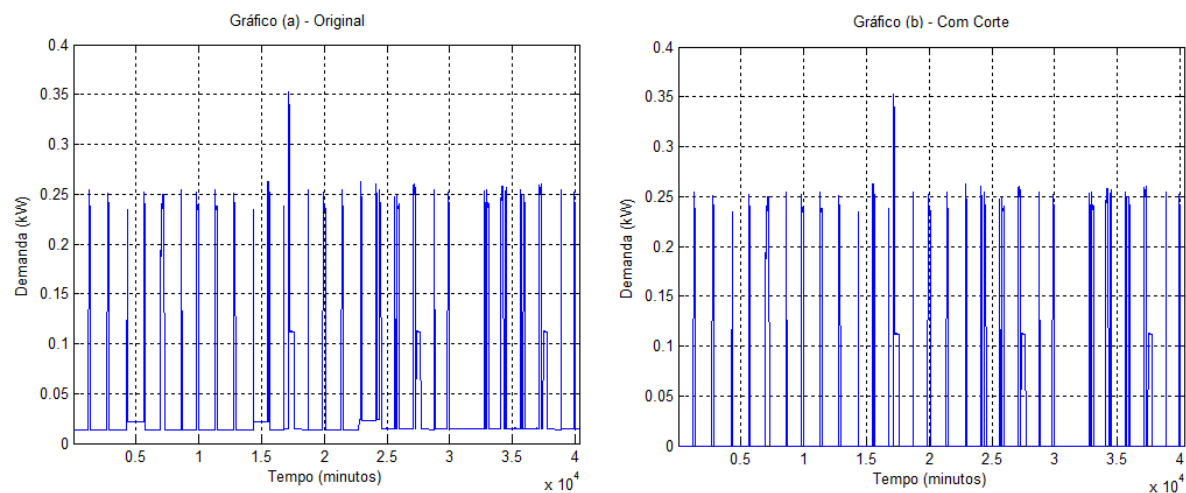


FIGURA 43- GRAFICO SP4 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR LIMIAR
FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 43 contém o valor medido de demanda em kW do micromedidor SP4, que é referente a carga sala de estar. Pode-se verificar no gráfico (a) que essa carga contém um consumo de *stand-by* no valor de 0,020 kW.

No gráfico (b) após utilizar o programa de corte verifica-se o corte total desse consumo.

A carga freezer, micro-ondas e lava roupas não possuem consumo de *stand-by*, por isso esse algoritmo não modifica a curva de carga desses equipamentos.

O cálculo da energia mensal simulada com corte de *stand-by* resultou em:

$$E_T(t) = \int_{t_0}^{t_1} p(t)dt = 413,8192kWh \quad (4)$$

Em seguida, o cálculo de custo de tarifa convencional com a energia atual, conforme foi feito na página 96 resultou em:

$$C_{T1} = E_T \times T_c = 413,8192 \times 0,3 = R\$124,15 \quad (5)$$

Já o cálculo de custo de tarifa branca com a energia atual apresenta o valor:

$$C_{T2} = E_T \times T_{Branca} = R\$164,50 \quad (6)$$

Estes resultados serão discutidos, em conjunto com as demais análises, na seção 5.4.

5.3.2 Corte automático de *stand-by* por horário

Da FIGURA 44 até FIGURA 46 são apresentados os gráficos de cada medidor original e ao lado o gráfico já com corte de *stand-by* por horário. O método foi ajustado utilizando-se apenas uma semana de dados de medição e simulado para o mês todo de dados de medição.

A FIGURA 44 contém o valor medido de demanda em kW do micromedidor SP1, que é referente a carga Escritório. Pode-se verificar no gráfico (b) um corte de *stand-by* referente ao horário que foi definido de acordo com a curva de carga do equipamento (de 01:30 horas até 09:50 horas).

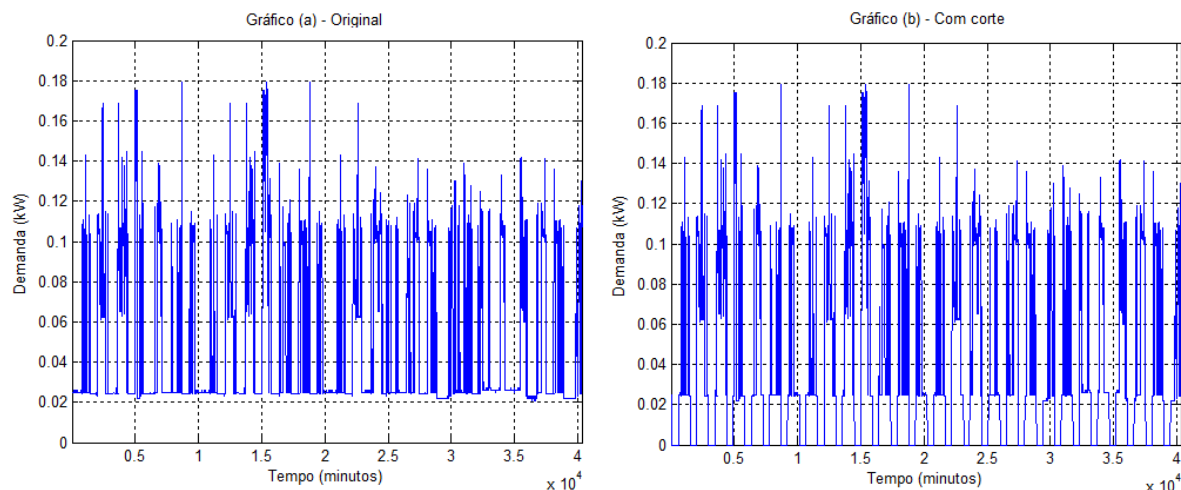


FIGURA 44 – GRAFICO SP1 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR HORÁRIO
FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 45 contém o valor medido de demanda em kW do micromedidor SP3, que é referente a carga Sala de computador. No gráfico (b) um corte de *stand-by* referente ao horário que foi definido de acordo com a curva de carga do equipamento (de 23:10 horas até 10:00 horas).

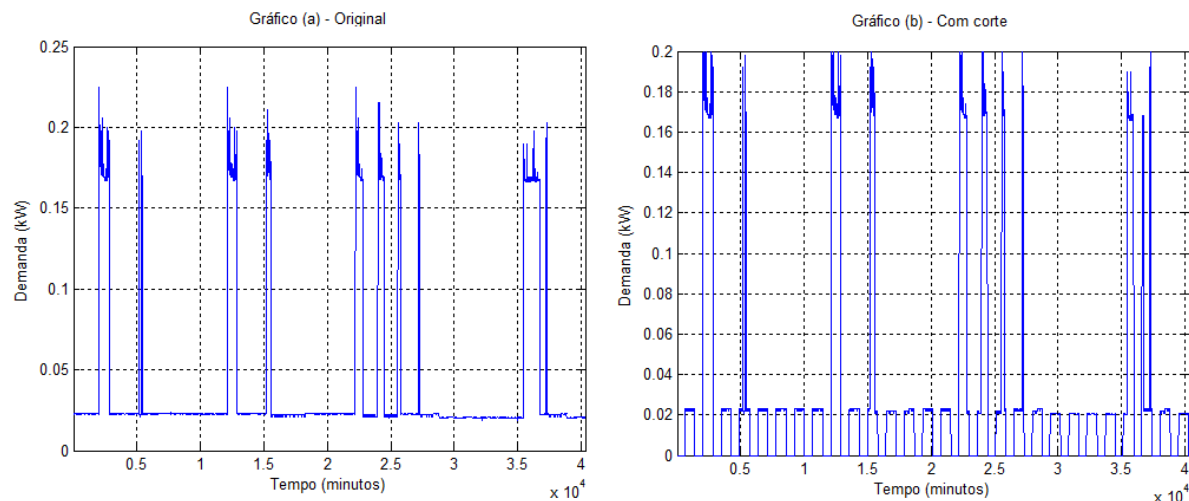


FIGURA 45 – GRAFICO SP3 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR HORÁRIO
FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 46 contém o valor medido de demanda em kW do micromedidor SP4, que é referente a carga sala de estar. No gráfico (b) um corte de *stand-by* referente ao horário que foi definido de acordo com a curva de carga do equipamento (de 00:50 horas até 09:20 horas).

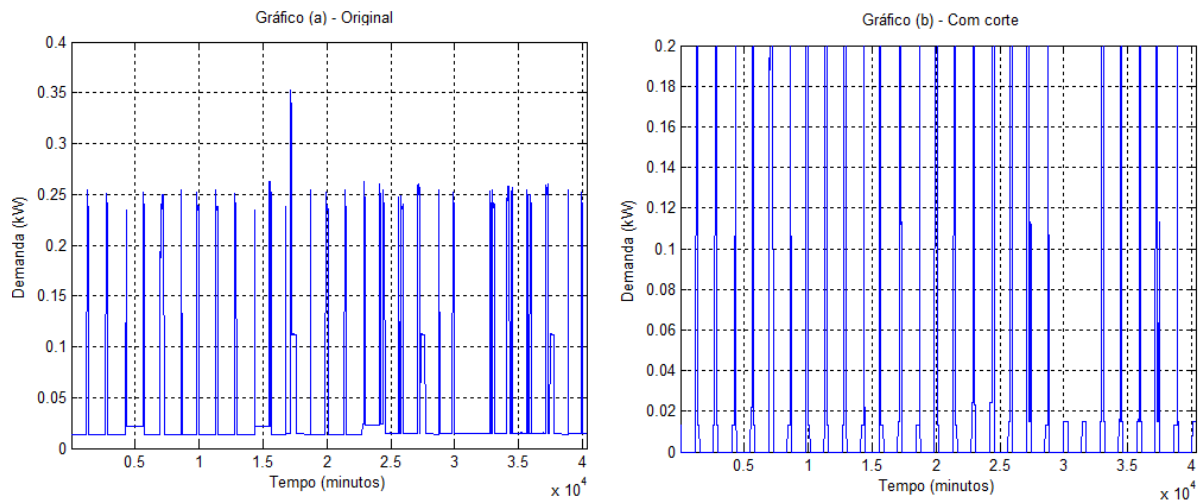


FIGURA 46– GRAFICO SP4 ORIGINAL E COM CORTE DE STAND-BY POR HORÁRIO
 FONTE: A autora (2012)

A carga freezer, micro-ondas e lava roupas não possuem consumo de *stand-by*, por isso esse algoritmo não modifica a curva de carga desses equipamentos.

O cálculo de energia simulada por mês com corte de *stand-by* resultou em:

$$E_T(t) = \int_{t_0}^{t_1} p(t)dt = 415,04kWh \quad (7)$$

O cálculo de custo de tarifa convencional com a energia atual resultou em:

$$C_{T1} = E_T \times T_c = 415,04 \times 0,3 = R\$124,51 \quad (8)$$

Já o cálculo de custo de tarifa branca com a energia atual apresenta o valor:

$$C_{T2} = E_T \times T_{Branca} = R\$166,45 \quad (9)$$

Analisando os valores resultantes percebe-se que houve uma diminuição um pouco menor que a estratégia de corte por limiar, no entanto, esse modo agora analisado tem a vantagem do micromedidor inteligente ligar sozinho sem que o usuário precise interferir. Estes resultados serão discutidos com maior profundidade, em conjunto com as demais análises, na seção 5.4.

5.3.3 Otimização do corte de carga devido à tarifa

A otimização foi realizada levando em consideração o valor da tarifa passada pela concessionária e corta a carga nos horários de tarifa intermediária e alta. Abaixo o gráfico da FIGURA 47 mostra quais horários por semana em que o micromedidor inteligente iria desligar levando em conta a tarifa branca.

Para este método apenas o SP1 teve resultado, pois todas as outras cargas medidas não apresentaram um padrão de uso definido. Os horários propostos para desligar o equipamento durante uma semana pode ser visto no gráfico da FIGURA 47. Quando o gráfico mostra o nível zero significa que o equipamento será desligado nesse período.

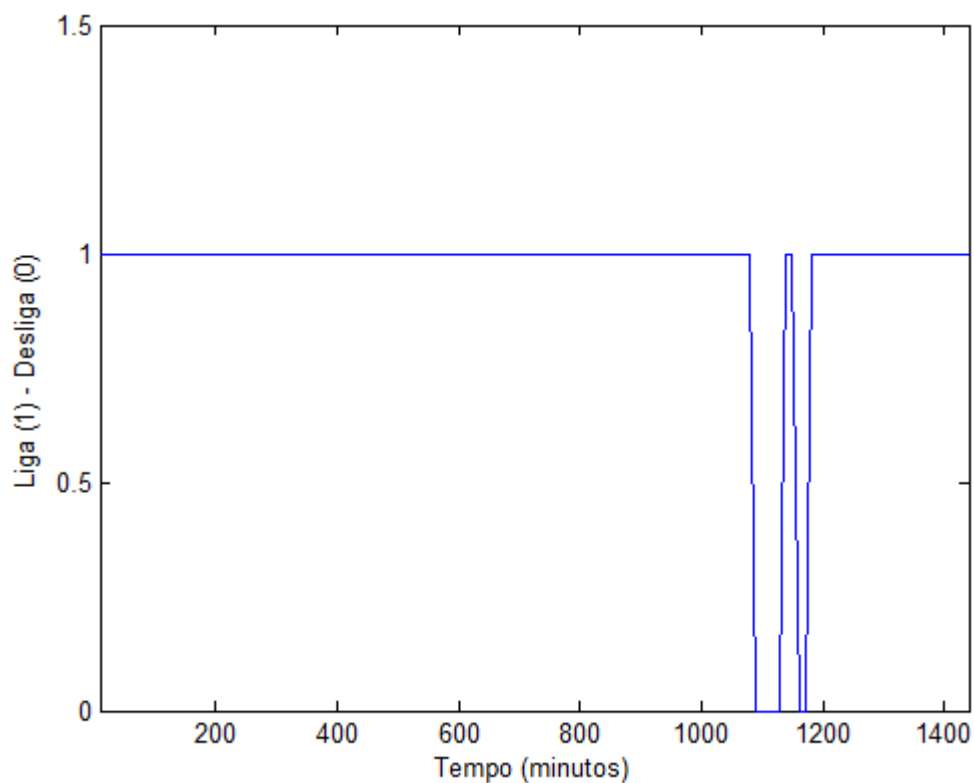


FIGURA 47 – HORÁRIO DURANTE A SEMANA EM QUE O MICROMEDIDOR SP1 FOI DESLIGADO

FONTE: A autora (2012)

O cálculo de energia simulada por mês com corte de *stand-by* resultou em:

$$E_T(t) = \int_{t_0}^{t_1} p(t)dt = 445,01kWh \quad (10)$$

O cálculo de custo de tarifa convencional com a energia atual resultou em:

$$C_{T1} = E_T \times T_c = 445,01 \times 0,3 = R\$133,50 \quad (11)$$

Já o cálculo de custo de tarifa branca com a energia atual apresenta o valor:

$$C_{T2} = E_T \times T_{Branca} = R\$173,82 \quad (12)$$

Estes resultados serão discutidos com maior profundidade, em conjunto com as demais análises, na seção 5.4.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos através da análise dos dados coletados pelos micromedidores inteligentes. Esses equipamentos ficaram instalados por mais de um mês na residência em estudo, mas os gráficos aqui apresentados foram feitos com os resultados de um mês.

Com esses valores foi possível gerar gráfico de carga para cada equipamento e com isso verificar um padrão de consumo ou como se pode economizar energia de forma simples, por exemplo, como corte do equipamento no período em que o mesmo não é utilizado. Esse corte economiza a energia consumida por *stand-by* dos equipamentos, valor que se demonstrou bem significativo no consumo final do usuário.

A TABELA 6 sintetiza os valores resultantes de cada teste.

TABELA 6 – TABELA COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

Método	Energia consumida	Custo com tarifa convencional	Economia em %	Custo com tarifa branca	Economia em %
Nenhum	447 kWh	R\$134,10	0	R\$175,30	0
Corte Stand-by por limiar	413 kWh	R\$124,15	7,42	R\$164,50	6,16
Corte Stand-	415 kWh	R\$124,51	7,16	R\$166,45	5,05

by por horário					
Corte Devido a tarifa	445 kWh	R\$133,50	0,45	R\$173,83	0,84

FONTE: A autora (2012)

Conforme TABELA 6 verifica-se que os três métodos empregados geraram uma economia em relação ao consumo sem controle de carga, tanto para a tarifa convencional quanto para a tarifa branca. A porcentagem de economia pode ser verificada nas terceira e quinta coluna da tabela.

A economia com corte de stand-by foi maior na tarifa convencional isso ocorre porque é uma tarifa única, uma vez que na tarifa branca tem-se valores diferenciados de tarifa no horário de ponta. O corte de stand-by geralmente ocorre em períodos fora da tarifa intermediária e de ponta, por isso verifica-se essa maior economia na tarifa convencional.

A economia verificada pelo método de corte devido à tarifa foi 46,43% maior na tarifa branca do que na tarifa convencional. Isso demonstra que se o usuário passar para o sistema de tarifação branca a utilização do micromedidor inteligente para gerenciamento pelo lado da demanda irá ser uma opção válida para economia de energia.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O sistema atual de distribuição de energia ainda não possibilita o conhecimento de todas as grandezas elétricas existentes no sistema. Contudo com a implantação das redes elétricas inteligentes será possível um novo nível de controle da rede de energia, pois tudo estará interligado, do ponto de vista da tecnologia da informação e comunicação, bem como as informações sempre poderão ser acessadas pelas concessionárias e consumidores.

O controle pelo lado da demanda é uma solução interessante neste novo cenário, pois se torna válida e viável do ponto de vista técnico-econômico. Isso porque com as redes elétricas inteligentes é possível saber exatamente o que o consumidor está utilizando e ter uma comunicação bidirecional com o mesmo através dos medidores inteligentes. Assim a concessionária pode efetuar uma mudança no perfil de consumo de cada cliente através de tarifas diferenciadas durante o dia, o que no Brasil será uma realidade com a implantação da tarifa branca no ano de 2014.

Os micromedidores inteligentes são medidores de energia com baixo custo de fabricação, tamanho reduzido e com um canal de comunicação bidirecional direta com o medidor central de uma residência ou com um sistema de gerenciamento de energia residencial. Sua função é medir o consumo individualizado de cada carga e possibilitar o corte via comando remoto, agendamento ou sobrecarga, agindo assim como um elemento principal de um sistema de gerenciamento pelo lado da demanda.

Para a implantação da filosofia de gerenciamento pelo lado da demanda o micromedidor se mostrou essencial, sendo seu desenvolvimento uma parte importante do projeto, pois com esse equipamento foi possível verificar a curva de carga para cada equipamento escolhido e ter um histórico importante para o desenvolvimento de um algoritmo de controle e gerenciamento das cargas.

Um resultado importante desse trabalho é poder conscientizar o usuário sobre a forma em que vem utilizando a energia, pois o micromedidor possibilita a análise do uso e dos custos associados a cada equipamento individualizado. Um exemplo seria a máquina de lavar, as pessoas acabam usando esse

eletrodoméstico sem pensar em como minimizar o gasto financeiro com o seu uso. Em primeiro lugar é importante ligar apenas quando estiver totalmente cheia, por mais que existam programas para economia de água, o mesmo não existe para energia, uma vez que menor quantidade de roupa não significa menor consumo de energia.

Com o desenvolvimento de um algoritmo de controle simples para a implementação nos micromedidores inteligentes verificou-se uma economia para o usuário. Esse algoritmo faz o corte de *stand-by* por limiar e por horário e o corte de consumo de acordo com o valor da tarifa enviada pela concessionária, sendo que esta funcionalidade apresentou resultados mais interessantes quando se considera os sistemas de tarifação diferenciada.

6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros sugere-se a implementação de um controle pelo lado da demanda de forma centralizada, isso quer dizer, que esteja dentro de um sistema de gerenciamento de energia residencial central que controle todos os micromedidores.

No algoritmo de controle de consumo foi desenvolvido um método de corte usando a tarifa e a curva de consumo semanal de um micromedidor, este teste não obteve um bom resultado em cargas que não demonstram uma curva de carga padrão. Como trabalhos futuros fica a sugestão de implementar uma nova estratégia de controle usando a informação diária e não semanal, desprezando a sazonalidade da carga e aumentando a adaptabilidade do algoritmo em função do uso da carga versus a tarifa informada pela concessionária.

REFERÊNCIAS

ANEEL, Nota Técnica 362/2010-SRE-SRD/ANEEL, 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_362_2010_sre-srd-aneel.pdf>. Acesso em: 14/03/2013.

ANEEL, Nota Técnica 311/2011-SRE-SRD/ANEEL, 2011. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/dspListaResultado.cfm?attAnoAud=2010&attIdAud=541&attAnoFasAud=2011&id_area=13>. Acesso em: 15/03/2013.

BARBATO, A.; CAPONE, A.; RODOLFI, M.; TAGLIAFERRI, D. Forecasting the usage of household appliances through power meter sensors for demand management in the smart grid. **IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)**, p. 404-409, 2011. Ieee.

CHOI, I.-H.; LEE, J.-H.; HONG, S.-H. Implementation and evaluation of the apparatus for intelligent energy management to apply to the smart grid at home. **IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference**, p. 1-5, 2011. Ieee.

CONEJO, A. J.; MORALES, J. M.; MEMBER, STUDENT; BARINGO, L. Real-Time Demand Response Model. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 1, n. 3, p. 236-242, 2010.

DNAEE. Nova Tarifa de Energia Elétrica - Metodologia e Aplicação. Brasília, 1985.

DU, P.; LU, N. Load Scheduling. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 2, n. 2, p. 411-419, 2012.

FALCÃO, D. M. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, p. 1-5, 2010.

FANG, X.; MEMBER, STUDENT; MISRA, S.; XUE, G. Smart Grid – The New and Improved Power Grid : A Survey. **IEEE Journals & Magazines**, v. 14, n. 4, p. 944-1980, 2012.

FARHANGI, H. The Path of the Smart Grid 18. **IEEE Power & Energy Magazine**, , n. february, 2010.

FERNANDES, F.; SOUSA, T.; SILVA, M. et al. Genetic Algorithm Methodology applied to Intelligent House Control. **IEEE**, p. 1-8, 2011.

GELLINGS, C. W. The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities. **Proceedings of the IEEE**, v. 73, n. 10, p. 1468-1470, 1985.

DI GIORGIO, A.; PIMPINELLA, L.; QUARESIMA, A.; CURTI, S. An event driven Smart Home Controller enabling cost effective use of electric energy and automated Demand Side Management. **2011 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)**, p. 358-364, 2011. Ieee.

HASHMI, M. **Survey of smart grids concepts worldwide**. 2011.

KAMADA, M. M.; BOEIRA, V. M. **Análise de modalidades tarifárias e suas aplicações para o Smart Grids**. 2011.

LASSETER, R. H.; PAIGI, P. Microgrid: A Conceptual Solution. , p. 4285-4290, 2004.

LEZAMA, J. M. L.; FELTRIN, A. P. Alocação e dimensionamento ótimo de geração distribuída em sistemas com mercados elétricos. , n. 56, 2011.

LEÓN, R. A.; FELLOW, V. V.; MANIMARAN, G. Secure Electric Energy Infrastructure. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 22, n. 2, p. 1021-1028, 2007.

LUAN, S.-W.; TENG, J.-H.; CHAN, S.-Y.; HWANG, L.-C. Development of a smart power meter for AMI based on ZigBee communication. **2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)**, p. 661-665, 2009. Ieee.

MEHL, E. L. M. Qualidade da Energia Elétrica. , p. 1-8, 1996.

MOLDERINK, A.; MEMBER, STUDENT; BAKKER, V. et al. Management and Control of Domestic Smart Grid Technology. , v. 1, n. 2, p. 109-119, 2010.

MORSALI, H.; SHEKARABI, S. M.; ARDEKANI, K.; KHAYAMI, H. Smart Plugs for Building Energy Management Systems. **IEEE Smart Grids (ICSG)**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2012.

OLIVEIRA, R. D. BENEFÍCIOS E DESAFIOS DE REDES INTELIGENTES. , p. 3-14, 2012.

PAULO, S. ALEXANDRE DE CAMPOS Gerenciamento Pelo Lado da Demanda: Um Estudo de Caso. ,2004.

PENIN, C. A. DE S. **Combate , Prevenção e Otimização das Perdas Comerciais de Energia Elétrica Combate , Prevenção e Otimização das Perdas Comerciais de Energia Elétrica**, 2008. Universidade de São Paulo.

SILVA, P. N. Smart grids – Redes Inteligentes Capítulo XI Smart grids e veículos elétricos – experiências em Portugal. ,2011. Disponível em: <www.osetoreletrico.com.br>. .

TAKUNO, T.; KOYAMA, M.; HIKIHARA, T. In-Home Power Distribution Systems by Circuit Switching and Power Packet Dispatching. **2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications**, p. 427-430, 2010. Ieee. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5622079>>. .

VUKMIROVIĆ, S.; ERDELJAN, A.; KULIĆ, F. A Smart Metering Architecture as a step towards Smart Grid realization. , p. 357-362, 2010.

WEI, X.; YU-HUI, Z.; JIE-LIN, Z. Energy-efficient distribution in smart grid. **2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply**, p. 1-6, 2009. Ieee. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5348223>>. .

WILLIAMS, E.; MATTHEWS, S.; BRETON, M.; BRADY, T. Use of a Computer-Based System to Measure and Manage Energy Consumption in the Home. **Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**, 2006., p. 167-172, 2006. Ieee. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1650055>>. .

WONG, V. W. S.; MEMBER, SENIOR; JATSKEVICH, J.; SCHOBBER, R.; LEON-GARCIA, A. Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid. , v. 1, n. 3, p. 320-331, 2010.

ZHAO, Y.; SHENG, W.; SUN, J.; SHI, W.; METER, A. S. Research and Thinking of Friendly Smart Home Energy System Based on Smart Power. , p. 4649-4654, 2011a.

ZHAO, Y.; SHENG, W.; SUN, J.; SHI, W.; METER, A. S. Research and Thinking of Friendly Smart Home Energy System Based on Smart Power. , p. 4649-4654, 2011b.

3. INFORMAÇÕES SOBRE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 - NESSA RESIDÊNCIA SÃO ADOTADAS MEDIDAS PARA ECONOMIZAR ENERGIA ELÉTRICA?

1. ☐ SIM

3. ☐ Não sabe Vá para a pergunta 3.5

2. ☐ NÃO Vá para a pergunta 3.5

3.2 - COM RELAÇÃO A MEDIDAS DE EFICIÊNCIA, QUAIS VOCÊS ADOTAM?

(**LOCALIZAR** NO **CARTÃO 1** MARCANDO UM "X" NOS ESPAÇOS CORRESPONDENTES, ACEITANDO RESPOSTAS MÚLTIPLAS.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

3.3 - QUAIS DESTAS MEDIDAS SÃO ADOTADAS? (**MOSTRAR** O **CARTÃO 1** - MARCANDO UM "X" NOS ESPAÇOS CORRESPONDENTES, ACEITANDO RESPOSTAS MÚLTIPLAS.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

3.4 - ORDENE AS MEDIDAS DO ITEM DE ACORDO COM A ORDEM DE PREFERÊNCIA QUE VOCÊ TEM PARA ATUAR SOBRE ELAS. (**MOSTRAR** O **CARTÃO 1**)

1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª

3.5 - DENTRE OS ASSUNTOS RELACIONADOS NESTE CARTÃO, ASSINALE OS ITENS QUE LHE INTERESSAM RECEBER INFORMAÇÕES (MOSTRAR **CARTÃO 2** - ACEITANDO RESPOSTAS MÚLTIPLAS)

--	--	--	--	--

6. ☐ Outros. Quais ? _____

3.6 - SE FOR OFERECIDO UM DESCONTO DE 10% NO VALOR DA SUA CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA, DESDE QUE OS APARELHOS INDICADOS NÃO SEJAM LIGADOS, DURANTE DUAS HORAS, NO HORÁRIO DE 18:00 ÀS 20:00. O(A) SR(A) CONCORDA COM A INSTALAÇÃO POR CONTA DA CONCESSIONÁRIA, DE UM APARELHO PARA IMPEDIR SEU FUNCIONAMENTO ?

APARELHOS	1 - NÃO SABE	2 - NÃO TEM O APARELHO	3 - SIM	4 - NÃO	5 - SE NÃO ATÉ QUE % ACEITA
CHUVEIRO ELÉTRICO					
MICROONDAS					
AR CONDICIONADO					
FERRO ELÉTRICO					
FORNO ELÉTRICO DE PAREDE					
MÁQUINA DE LAVAR ROUPA					
MÁQUINA DE LAVAR LOUÇA					
FREEZER					
GELADEIRA					

3.7 - CASO A CONCESSIONÁRIA OFEREÇA ENERGIA ELÉTRICA MAIS BARATA FORA DO PERÍODO DE 18:00 ÀS 20:00 HORAS, O(A) SR.(A) ESTARIA DISPOSTO(A) A REDUZIR O CONSUMO DE ENERGIA NESTE PERÍODO?

1. ☐ SIM
 2. ☐ NÃO.
 3. ☐ DEPENDE DO DESCONTO.
 4. ☐ NÃO SABE

CASO, A RESPOSTA SEJA 1 OU 3, PREENCHER:

REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM	DESCONTO QUE VOCÊ ACHARIA RAZOÁVEL? (EM %)	NÃO ACEITARIA REDUZIR O CONSUMO NESTE NÍVEL (MARQUE UM X)
1 - 10%	1-	1-
2 - 20%	2-	2-
3 - 25%	3-	3-

3.8 - O(A) SR.(A) ACEITARIA REDUZIR O CONSUMO EM 20%, PARA MANTER A TARIFA ATUAL?

1. ☐ SIM
 2. ☐ NÃO
 3. ☐ NÃO SABE
 4. ☐ DEPENDE DO AUMENTO DA TARIFA

CASO A RESPOSTA SEJA 2 ou 4: PERGUNTAR:

3.9 - SE A TARIFA AUMENTASSE EM 20%, O(A) SR.(A) ESTARIA DISPOSTO(A) A REDUZIR O CONSUMO DE ENERGIA?

1. ☐ SIM
 2. ☐ NÃO
 3. ☐ NÃO SABE
 4. ☐ SÓ SE O AUMENTO DA TARIFA FOSSE MAIOR, QUAL SERIA O VALOR LIMITE?

3.10 - SE O(A) SR.(A) ACEITASSE REDUZIR O CONSUMO, SEJA EM FUNÇÃO DE UM DESCONTO DE SEU INTERESSE OU PARA EVITAR UM AUMENTO INDESEJÁVEL DE TARIFA, EM QUE SERVIÇO ATUARIA PRIORITARIAMENTE

SERVIÇO	ESCOLHA DOIS EM QUE VOCÊ ATUARIA PRIORITARIAMENTE? (INDICAR 1 PARA O PRIMEIRO E 2 PARA O SEGUNDO NA ORDEM)	INDIQUE EM QUAL VOCÊ SÓ ATUARIA EM ÚLTIMO CASO
CHUVEIRO ELÉTRICO		
MICROONDAS		
AR CONDICIONADO		
FERRO ELÉTRICO		
MÁQUINA DE LAVAR ROUPA		
MÁQUINA DE LAVAR LOUÇA		
ILUMINAÇÃO		
TELEVISÃO		
GELADEIRA		
FREEZER		

4. ILUMINAÇÃO

4.1. CARACTERÍSTICAS E HÁBITOS DE USO

TIPO DE CÔMODO	LÂMPADAS		QUANTIDADE DE LÂMPADAS ACESAS POR PERÍODO (EVENTUAL X HABITUAL)																								
	Total	Tipo (1)	E	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Sala de estar, jantar e TV																											
Quarto 1																											
Quarto - 2																											
Quarto- 3																											
Quarto - 4																											
Banheiro -1																											
Banheiro -2																											
Banheiro -3																											
Corredores																											
Copa/Cozinha																											
Área de Serviço																											
Garagem																											
Área Externa																											

CHAMADA (1) :TIPO DE LÂMPADA

- (1) 25 W - Incandescente
 (2) 40 W - Incandescente
 (3) 60 W - Incandescente
 (4) 100 W - Incandescente

- (5) 150 W - Incandescente
 (6) 20 W- Fluorescente Tubular
 (7) 40 W- Fluorescente Tubular
 (8) Fluorescente Compacta

- (9) Fluorescente Circular
 (10) Dicroica
 (11) PL
 (12) OUTRO

NOTA: (1) Na sala e na copa/cozinha deve ser verificada a potência na própria lâmpada, nos demais cômodos essa medida pode ser feita por declaração.

(2) Se não for possível identificar um horário habitual de uso marque um "X" apenas na coluna referente a uso eventual "E".

4.2 - QUAL A TONALIDADE DE ILUMINAÇÃO DE SUA PREFERÊNCIA?

1. ☐ AMARELA 2. ☐ BRANCA. 3. ☐ NÃO TEM PREFERÊNCIA 4. ☐ NÃO SABE.

4.3 – VOCÊ TROCARIA A LÂMPADA INCANDESCENTE (QUE TEM MAIOR CONSUMO, PORÉM DE MENOR CUSTO DE AQUISIÇÃO) PELA FLUORESCENTE COMPACTA (QUE TEM MENOR CONSUMO, PORÉM DE MAIOR CUSTO DE AQUISIÇÃO)?

1. ☐ SIM. 2. ☐ NÃO. 3. ☐ NÃO SABE

5. REFRIGERADOR

5.1. CARACTERÍSTICAS

Nº DE REFE- RÊNCIA DO APARE- LHO	TIPO DE APARELHO (1)				UTILIZ. (2)	TERMOSTATO		ESTIMATIVA DE IDADE DO APARELHO (em anos)	PROBLEMAS OCORRIDOS NOS ÚLTIMOS 12 MESES (3)	MEDIDAS DO APARELHO (cm)		
	MARCA	Nº DE PORTAS	FROST FREE -S/N	CAPACID litros		POSIÇÃO	TOTAL			ALTURA	LARGURA	PROFUND
1												
2												
3												

CHAMADA (1): VEJA NO **CARTÃO 3**.

CHAMADA (2) :

(1) USO PERMANENTE.

(2) DESLIGADO.

(3) USO PARTE DO DIA.

(4) SÓ LIGADO EVENTUALMENTE.

CHAMADA (3):

(1) MOTOR COM DEFEITO OU RUÍDO EXCESSIVO ?

(3) CONGELADOR FAZENDO GELO DEMAIS OU DE MENOS?

(2) PORTA COM DIFICULDADE PARA FECHAR ?

(4) OUTROS PROBLEMAS

OBS.: ESTA QUESTÃO ADMITE RESPOSTAS MÚLTIPLAS

NOTA: A ÚLTIMA COLUNA REFERENTE AS MEDIDAS DO APARELHO SÓ DEVE SER PREENCHIDA CASO NÃO TENHA SIDO POSSÍVEL IDENTIFICAR O "TIPO DE APARELHO".

5.2 - DO(S) REFRIGERADOR(ES) ACIMA CITADO(S), ADQUIRIU ALGUM NOVO (NA LOJA) NOS ÚLTIMOS DEZ ANOS?

1. ☐ NÃO

2. ☐ SIM

QUANTOS? ☐

CASO "NÃO" VÁ PARA O ITEM 6

5.3. NESSA AQUISIÇÃO LEVOU EM CONSIDERAÇÃO O CONSUMO DO APARELHO MOSTRADO NA ETIQUETA AO ADQUIRÍ-LO?

1. <input type="checkbox"/> SIM	3. <input type="checkbox"/> NÃO SABIA DA EXISTÊNCIA DE ETIQUETA
2. <input type="checkbox"/> NÃO ME INTERESSEI	4. <input type="checkbox"/> NÃO TINHA ETIQUETA

OBS.: ESTA QUESTÃO ADMITE RESPOSTAS MÚLTIPLA

5.4. NO CASO DE UMA FUTURA TROCA DE GELADEIRA VOCÊ COMPRARIA UMA COM SELO PROCEL?

1. ☐ SIM
2. ☐ NÃO PORQUE? _____

6. FREEZER

6.1. CARACTERÍSTICAS

Nº-REFERÊNCIA DO APARELHO	TIPO DE APARELHO (1)				UTILIZ. (2)	ESTIMATIVA DE IDADE DO APARELHO (cm anos)	MEDIDAS DO APARELHO (cm)		
	MARCA	VERT/ HORIZ	FROST FREE - S/N	CAPACID litros			ALTURA	LARGURA	PROFUND
1									
2									
3									

CHAMADA (1): VEJA NO **CARTÃO 4**

CHAMADA (2) :

(1) USO PERMANENTE.

(2) DESLIGADO.

(3) USO PARTE DO DIA.

(4) SÓ LIGADO EVENTUALMENTE.

NOTA: A ÚLTIMA COLUNA REFERENTE AS MEDIDAS DO APARELHO SÓ DEVE SER PREENCHIDA CASO NÃO TENHA SIDO POSSÍVEL IDENTIFICAR O "TIPO DE APARELHO".

7. AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA BANHO

7.1 - COMO ESQUENTA A ÁGUA ?

AQUECIMENTO ELÉTRICO

1. ☐ CHUVEIRO ELÉTRICO
2. ☐ BOILER
3. ☐ AQUECIMENTO CENTRAL

AQUECIMENTO A GÁS

4. ☐ GLP (GÁS DE BOTIJÃO)
5. ☐ BOILER
6. ☐ AQUECIMENTO CENTRAL

7. ☐ AQUECEDOR SOLAR8. ☐ NÃO ESQUENTA (BANHO FRIO)9. ☐ OUTROS FORMAS DE AQUECIMENTO

QUAL: _____

OBS.: ESTA QUESTÃO ADMITE RESPOSTAS MÚLTIPLAS

CASO UTILIZE **CHUVEIRO ELÉTRICO** PREENCHA OS ITENS 7.2, 7.3, 7.4 E 7.5.

7.2 - CARACTERÍSTICAS

Nº REFERÊNCIA DO APARELHO	TIPO DE APARELHO (1)		NÚMERO DE PESSOAS QUE USAM	POSIÇÃO EM QUE SE ENCONTRA A CHAVE DO APARELHO NO VERÃO			DURANTE OS MESES DE INVERNO A CHAVE FICA NA POSIÇÃO		
	MARCA	POTÊNCIA (WATTS)		VERÃO	INVERNO	DESLIGADA	VERÃO	INVERNO	DESLIGADA
1									
2									
3									

CHAMADA: (1) VEJA NO **CARTÃO 5**

NOTA: PERGUNTAR OU IDENTIFICAR O MODELO DE CHUVEIRO ELÉTRICO DE ACORDO COM O CARTÃO 5.

7.3 - HÁBITOS DE USO DO CHUVEIRO ELÉTRICO NOS DIAS DE SEMANA.

Nº-REFERÊNCIA DO APARELHO	NÚMERO DE PESSOAS QUE USAM O CHUVEIRO ELÉTRICO NOS HORÁRIOS																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1																								
2																								
3																								

NOTA: Os campos devem ser preenchidos com o número de pessoas que usam o chuveiro elétrico nos horários correspondentes, admitindo a possibilidade de um indivíduo tomar mais de um banho por dia.

7.4 - HÁBITOS DE USO DO CHUVEIRO ELÉTRICO NOS FINAIS DE SEMANA.

Nº-REFERÊNCIA DO APARELHO	NÚMERO DE PESSOAS QUE USAM O CHUVEIRO ELÉTRICO NOS HORÁRIOS																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1																								
2																								
3																								

NOTA: Os campos devem ser preenchidos com o número de pessoas que usam o chuveiro elétrico nos horários correspondentes, admitindo a possibilidade de um indivíduo tomar mais de um banho por dia.

7.5 - SE A TARIFA FOSSE O DOBRO DAS 18:00 ÀS 20:00 VOCÊ ACHA QUE A SUA FAMÍLIA EVITARIA TOMAR BANHO DE CHUVEIRO ELÉTRICO (QUENTE) NESTE HORÁRIO ?

1. ☐ SIM 2. ☐ NÃO 3. ☐ NÃO SEI

8. CONDICIONADOR DE AR

8.1 - CARACTERÍSTICAS

Nº REFERÊN- CIA DO APARELHO	TIPO DE APARELHO		ESTIMATIVA DA IDADE DO APARELHO (em anos)	ESTE CÔMODO RECEBE SOL?			A LIMPEZA DO FILTRO É FEITA NO INÍCIO DE UM PERÍODO DE USO PROLONGADO DO APARELHO ?		MEDIDAS DO APARELHO	
	MARCA (1)	BTU		MANHÃ	TARDE	NÃO	SIM	NÃO	ALTURA	LARGURA
1										
2										
3										
4										

CHAMADA (1): CARTÃO 6

NOTA: CASO NÃO SEJA POSSÍVEL IDENTIFICAR NO APARELHO SUA MARCA E BTU PREENCHA A LACUNA REFERENTE AS MEDIDAS DO APARELHO.

8.2 - HÁBITOS DE USO DE ACORDO COM O CLIMA NOS DIAS DE SEMANA E FINAIS DE SEMANA.

Nº REFERÊNCIA DO APARELHO	USA O APARELHO NO CLIMA.....? (SIM OU NÃO)	GRAU DE UTIL. (1)	TEMPO DE USO POR PERÍODO (marque um "X")																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	Quente ()																									
	Ameno ()																									
	Frio ()																									
2	Quente ()																									
	Ameno ()																									
	Frio ()																									
3	Quente ()																									
	Ameno ()																									
	Frio ()																									
4	Quente ()																									
	Ameno ()																									
	Frio ()																									

CHAMADA (1) :

G (GRANDE)- UTILIZADO MAIS DE 4 VEZES POR SEMANA.

M (MÉDIA) - DE 1 A 3 VEZES POR SEMANA.

R (REGULAR)- DE 1 A 3 VEZES POR MÊS.

P (PEQUENA) - MENOS DE UMA VEZ POR MÊS.

N (NENHUMA) - NÃO UTILIZA

NOTA: DEVE SER EXCLUÍDO O PERÍODO EM QUE O CONDICIONADOR DE AR É UTILIZADO APENAS NA VENTILAÇÃO.

10. OUTROS ELETRODOMÉSTICOS

10.1. CARACTERÍSTICAS E HÁBITOS DE USO

APARELHO	QUANTIDADE	GRAU
		UTIL. (1)
1. APARELHO DE SOM		
2. RÁDIO ELÉTRICO		
3. VIDEOCASSETTE		
4. MICROCOMPUTADOR		
5. IMPRESSORA		
6. VIDEOGAME		
7. FERRO		
8. LAVA ROUPA		
9. LAVA LOUÇA		
10. SECADORA DE ROUPA		
11. FORNO DE MICROONDAS		
12. FORNO ELÉTRICO		
13. LIQUIDIFICADOR		
14. BATEDEIRA		
15. CAFETEIRA ELÉTRICA		
16. PANELA ELÉTRICA		
17. EXAUSTOR		
18. VENTILADOR/CIRCULADOR		
19. AQUECEDOR DE AMBIENTE		
20. ENCERADEIRA		
21. ASPIRADOR DE PÓ		
22. BOMBA D'ÁGUA		
23. GELO ÁGUA		
24. DVD		
25. PURIFICADOR		
26. SECADOR DE CABELO		
27. FAX		
28. SANDUICHEIRA/GRIL		

CHAMADA (1):

G (GRANDE)- UTILIZADO MAIS DE 4 VEZES POR SEMANA.

M (MÉDIA) - DE 1 A 3 VEZES POR SEMANA.

R (REGULAR) - DE 1 A 3 VEZES POR MÊS.

P (PEQUENA) - MENOS DE UMA VEZ POR MÊS.

N (NENHUMA) - NÃO UTILIZA.

NOTA: (1) Se a quantidade do equipamento for superior a um, ele deve ser colocado no final da tabela, mantendo a ordem cronológica do equipamento na tabela.

(2) Se no domicílio houver outro(s) equipamento(s) com o uso pelo menos "regular" - 1 a 3 vezes por mês - ele deve ser incluído na lista.

10.2. HORÁRIOS DE USO DO: (1) APARELHO DE SOM; (2) MICROCOMPUTADOR; (3) FERRO; (4) LAVA ROUPA; (5) LAVA LOUÇA; (6) SECADORA DE ROUPA; (7) FORNO DE MICROONDAS.

HORÁRIO	HORÁRIOS DE USO DOS OUTROS EQUIPAMENTOS						
	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA	SÁBADO	DOMINGO
0							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							

NOTA: NOS ESPAÇOS DEVEM SER COLOCADOS OS NÚMEROS REFERENTES AOS EQUIPAMENTOS SE FIZER REFERÊNCIA A UM SEGUNDO EQUIPAMENTO UTILIZAR .1, .2 ETC..

10.3 - QUAIS DOS SEGUINTES EQUIPAMENTOS FORAM COMPRADOS PARA ESTE DOMICÍLIO NOS ÚLTIMOS DOIS ANOS ? INDIQUE O MÊS E O ANO DE AQUISIÇÃO?

[illegible]

Q3 10.4 - PRETENDE COMPRAR ALGUM ELETRODOMÉSTICO NOS PRÓXIMOS SEIS MESES, PARA ESTE DOMÍLIO?

1. ☐ NÃO 2. ☐ SIM 3. QUAL(IS) (IDENTIFIQUE NO CARTÃO 8):

[illegible]

Ex 10.5 - CASO PRETENDA COMPRAR UM EQUIPAMENTO QUE JÁ POSSUA, QUAL O DESTINO QUE VAI SER DADO PARA O EQUIPAMENTO ANTIGO?

1. ☐ NÃO SABE 2. ☐ JOGAR FORA 3. ☐ DAR PARA ALGUÉM 4. ☐ FICA COM OS DOIS
5. ☐ VENDE

11. DADOS SÓCIO-ECONÔMICOS

11.1 - ITENS DE CONFORTO FAMILIAR

ITENS	NÃO TEM	QUANTIDADE					
		1	2	3	4	5	6 e +
RÁDIO							
BANHEIRO							
AUTOMÓVEL							
EMPREGADA MENSALISTA							

11.2. RENDA DOMICILIAR (Piso nacional de salários)

1. ☐ <1 4. ☐ 3 a 4 7. ☐ 7 a 10 10. ☐ 20 a 30 13. ☐ NÃO SABE
2. ☐ 1 a 2 5. ☐ 4 a 5 8. ☐ 10 a 15 11. ☐ 30 a 40
3. ☐ 2 a 3 6. ☐ 5 a 7 9. ☐ 15 a 20 12. ☐ > 40

11.3. NESTE DOMICÍLIO É FEITO ALGUM TIPO DE TRABALHO PARA SER COMERCIALIZADO ?

(OLHAR NO CARTÃO 9) 1. ☐ NÃO 2. ☐ SIM 3. QUAL(IS): _____

EQ 11.4. QUAIS SÃO OS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS UTILIZADOS NESTE(S) TRABALHO(S) (IDENTIFIQUE OS EQUIPAMENTOS NO CARTÃO 8)? _____, _____, _____, _____

11.5 - REGIÃO DO DOMICÍLIO: ☐ LUXO ☐ CLASSE MÉDIA ☐ POBRE

11.6 - PRÓXIMO A FAVELA: ☐ SIM ☐ NÃO ☐ OU NA FAVELA

11.7 - HORA DE TÉRMINO DA ENTREVISTA: :